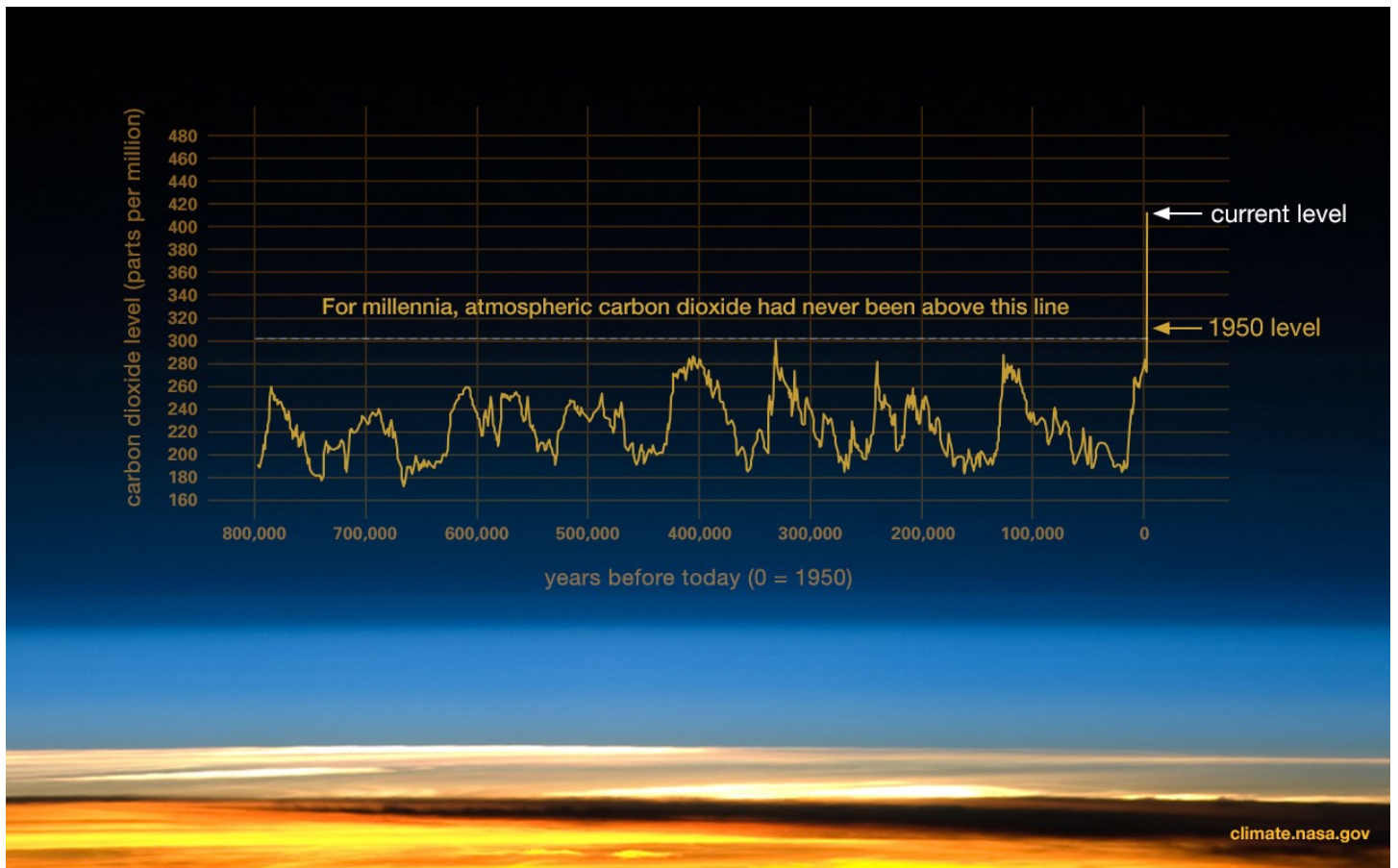


Alterações Climáticas

Factos

Indicadores

Recursos



Pedro Cortesão Casimiro

Editor

Associação de Professores de Geografia

Bairro da Liberdade, Rua C2, Lote 9 - Loja 13

1070-023 Lisboa



ISBN - 978-989-53324-0-3

Título - Alterações Climáticas – Factos, Indicadores, Recursos

Autor - Pedro Cortesão Casimiro

Suporte - Electrónico

Formato - PDF / PDF/A

ISBN 978-989-53324-0-3



Fonte da imagem de capa:

Concentração atmosférica de dióxido de carbono, desde há 800 mil anos.

NASA - Climate Change: How Do We Know?

<https://climate.nasa.gov/evidence/>

Preâmbulo

O tema das alterações climáticas faz parte do currículo nacional ao longo da escolaridade obrigatória, i.e., desde o pré-escolar até ao final do ensino secundário. Ao longo do seu percurso escolar os alunos contactam com a complexidade do tema em abordagens disciplinares específicas, como é o caso da disciplina de Geografia, ou multidisciplinarymente, e.g., um Domínio de Autonomia Curricular (DAC), através da conceção de um projeto comum promovendo, geralmente, trabalho colaborativo entre os docentes e alunos, e potenciador do desenvolvimento de muitas das competências do “Perfil dos alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória” (PASEO).

No ensino básico as questões ambientais são transversais, contudo, de acordo com os documentos das Aprendizagens Essenciais homologados, disciplinas como a Geografia e as ciências físico-naturais abordam-nas curricularmente. No ensino secundário apresentam-se com a mesma abordagem, mas com especial incidência nos Cursos científico-tecnológicos e nos Cursos Profissionais associados à gestão do território, turismo e ambiente.

Nível de Ensino	Área curricular/Disciplina
Pré-escolar	Área do conhecimento do Mundo
1º Ciclo	Cidadania e Desenvolvimento Estudo do Meio
2º Ciclo	Ciências Naturais História e Geografia de Portugal Cidadania e Desenvolvimento
3º Ciclo	Cidadania e Desenvolvimento Ciências Naturais Educação Tecnológica Educação Visual Físico-Química Geografia História Inglês Português TIC
ES	ES – Cursos Científico-humanísticos Cidadania e Desenvolvimento Geografia A ES – Cursos Profissionais Cidadania e Desenvolvimento Área de Integração Geografia

A par das Aprendizagens Essenciais, na “Estratégia Nacional de Educação para a Cidadania” os problemas ambientais, a sustentabilidade e o risco, também fazem parte dos temas inscritos no primeiro grupo de domínios passíveis de abordagem curricular, obrigatórios no ensino básico.

Este ebook é uma espécie de itinerário “comentado” sobre as alterações climáticas que ajudará, certamente, os professores a didatizar esta temática tão complexa, multiescalar e multifatorial. Cada suporte gráfico apresentado pelo autor sobre os “Factos e Indicadores”, estudados cientificamente por múltiplos organismos e instituições de referência, constitui um manancial de informação e de sugestões de análise ou de exploração para os docentes. Paralelamente, esta diversidade de suportes (excertos de artigos científicos, animações, mapas, gráficos e infografias) permite aos professores, por um lado, ter autonomia para escolher os suportes mais adequados, atendendo aos propósitos da sua intervenção e ao nível etário dos seus alunos e, por outro lado, atender aos diferentes estilos de aprendizagem presentes no grupo de alunos, e.g. para a abordagem do mesmo indicador. Acresce a isto toda a parte informativa relativa aos “Recursos” existentes e disponíveis ao público em geral, a partir da qual é possível aceder e pesquisar informação sobre as alterações climáticas, o que contribui, igualmente, para o desenvolvimento de competências e construção de conhecimentos conducentes à apropriação do pensamento crítico, autonomia e valores de cidadania territorial.

Ana Cristina Câmara
Presidente da Direção da APROF GEO

Índice

Agradecimento	1
Introdução	1
Dimensão e volume da atmosfera, percepções	2
Dinâmica da Atmosfera	6
Efeito de estufa	12
Ciência.....	15
Indicadores.....	27
Causas.....	42
Dados	51
Padrões Espaciais	59
Consenso	74
Recursos	78
Informação	98
Antropoceno	101
Índice de figuras	105

Agradecimento

No seguimento de um convite que recebi e que muito agradeço, do Francisco Magalhães e do Henrique Cerqueira, para fazer uma breve palestra sobre factos e indicadores das alterações climáticas, no 1º Encontro de Estudantes de Geografia na Universidade de Coimbra em 21 de Fevereiro de 2019, a Direcção da Associação de Professores de Geografia (APROFGEO) desafiou-me para transformar, dar mais substância a este material e apresentá-lo, no ciclo de conferências Geografia fora d'horas", que teve lugar a 24 de Janeiro de 2020.

Face à reacção e interesse manifestado, fui, novamente, desafiado a modificar e ampliar o material que tinha e transformá-lo numa acção de formação, para Professores do Ensino Básico e Secundário, que viria a realizar-se a 24 de Janeiro de 2021. Os comentários, interesse, questões e debate que resultaram, foram no sentido de que seria interessante converter este material num documento de apoio, disponível para os professores, dada a quantidade de informação, fontes e recursos utilizados.

Assim, não querendo faltar aos pedidos e interesse manifestado, por muitos dos que assistiram, bem como por quem me desafiou, incentivou e apoiou neste trajecto – a Direcção da Associação de Professores de Geografia (APROGEO) – predispus-me a transformar o documento *PowerPoint* que utilizei, num e-book, onde os factos, indicadores e recursos relativos às alterações climáticas fiquem “organizados”, sistematizados e disponíveis de uma forma simples, actualizada e enquadrada, utilizando (sobretudo) muita infografia de qualidade, actualizável se possível, e apelativa.

Tenho de agradecer, muito e profundamente, à Direcção da APROGEO, pelos desafios, interesse, disponibilidade e apoio, desde o início até à edição e partilha deste documento. Os Professores de Geografia são, quanto a mim e sem qualquer dúvida, quem melhor pode levar esta informação aos mais jovens, educar, informar, explorar e trabalhar este manancial de informação. Estou totalmente ao dispor para os ajudar nessa divulgação e sensibilização.

Introdução

Pretende-se com este documento facultar e enumerar o máximo de factos, dados concretos, indicadores e recursos acerca das alterações climáticas, sobretudo infografia, apresentando e enquadrando a infografia e fontes, sem, no entanto, se construir um guião para essa informação. Todos os *links* foram validados e verificados na segunda metade do mês de Julho de 2021, os *links* que aparecem no corpo do texto foram encurtados, à vista, mas a ligação está lá toda e activa. Todas as fontes, seja qual for o tipo, estão identificadas localmente e com *link*, tendo-se privilegiado esse formato, por questões práticas, em detrimento de uma listagem de referências e bibliografia.

Os recursos apresentados não pretendem ser, de forma alguma, exaustivos, mas antes e sobretudo o que de melhor as principais e mais reputadas instituições e organizações têm produzido, o mais recentemente, sob a forma de relatórios, estudos, ou nos seus sítios de internet. Em virtude das limitações do Word, que não aceita alguns formatos de vídeo e animação, porque a passagem posterior a PDF implica que ainda menos formatos são suportados, os conteúdos que são “animados” estão assinalados, representados (quase sempre) por uma captura de ecrã, estando disponível a fonte *online*, bem como o *link* para o Youtube, sempre que possível.

O documento está estruturado para começar por questões de percepção, relativamente à própria atmosfera, sua estrutura, dimensão e dinâmica, para depois explicar os processos e mecanismos, o efeito de estufa e o que a ciência conhece, há muito, acerca disto. Seguidamente, apresentam-se indicadores das alterações climáticas, dados que o comprovam, as causas antrópicas, os padrões espaciais da alteração da emissão de gases de efeito de estufa e o consenso, vasto e esmagador, que existe relativamente às alterações e sua causa antrópica. Terminando com um abrangente, mas sintético, conjunto de recursos e informação, relativa às alterações climáticas e material sobre o Antropoceno.

Dimensão e volume da atmosfera, percepções

A percepção que temos, colectivamente, da dimensão, volume e características da atmosfera leva-nos, claramente, a sobrestimar a sua dimensão e, simultaneamente e consequentemente, a subestimar o impacto das actividades humanas nessa mesma atmosfera. Começo por uma imagem, que costumo utilizar no início das aulas, com o objectivo de lembrar a nossa verdadeira dimensão, insignificância cósmica, vulnerabilidade e, sobretudo, falta de alternativa, pois a Terra é a nossa única casa.

Esta imagem (Figura 1, abaixo), "Pale blue dot" foi adquirida pela sonda Voyager 1, a 14 de Fevereiro de 1990, enquanto viajava em direcção aos limites exteriores do sistema solar, quando estava a cerca de seis mil milhões de quilómetros, tendo a NASA virado a câmara "para trás", permitindo ver o planeta Terra, um "pálido ponto azul" na imensidão do espaço (ponto claro à direita, metade inferior, sobre a faixa de luz alaranjada).

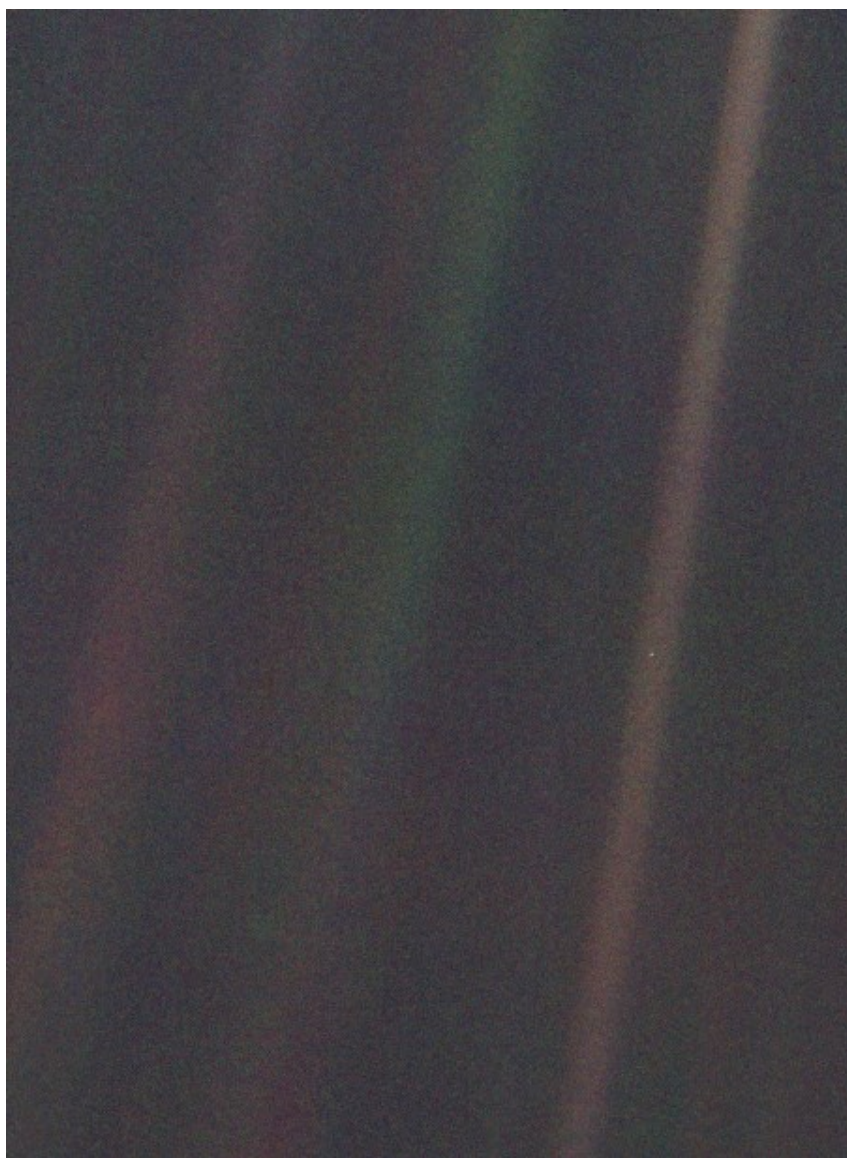


Figura 1 – "Pale Blue Dot", Terra a 6 mil milhões de km, 14-02-1990, Voyager 1.

Fonte: <https://visibleearth.nasa.gov/images/52392/solar-system-portrait-earth-as-pale-blue-dot>

Esta imagem inspirou um texto célebre, de Carl Sagan, que transcrevo na íntegra, no inglês original e que é um ponto de partida fantástico para a exploração da imagem e seu significado.

«From this distant vantage point, the Earth might not seem of any particular interest. But for us, it's different. Consider again that dot. That's here. That's home. That's us. On it everyone you love, everyone you know, everyone you ever heard of, every human being who ever was, lived out their lives. The aggregate of our joy and suffering, thousands of confident religions, ideologies, and economic doctrines, every hunter and forager, every hero and coward, every creator and destroyer of civilization, every king and peasant, every young couple in love, every mother and father, hopeful child, inventor and explorer, every teacher of morals, every corrupt

politician, every "superstar," every "supreme leader," every saint and sinner in the history of our species lived there – on a mote of dust suspended in a sunbeam.

The Earth is a very small stage in a vast cosmic arena. Think of the rivers of blood spilled by all those generals and emperors so that in glory and triumph they could become the momentary masters of a fraction of a dot. Think of the endless cruelties visited by the inhabitants of one corner of this pixel on the scarcely distinguishable inhabitants of some other corner. How frequent their misunderstandings, how eager they are to kill one another, how fervent their hatreds. Our posturings, our imagined self-importance, the delusion that we have some privileged position in the universe, are challenged by this point of pale light. Our planet is a lonely speck in the great enveloping cosmic dark. In our obscurity – in all this vastness – there is no hint that help will come from elsewhere to save us from ourselves.

The Earth is the only world known, so far, to harbour life. There is nowhere else, at least in the near future, to which our species could migrate. Visit, yes. Settle, not yet. Like it or not, for the moment, the Earth is where we make our stand. It has been said that astronomy is a humbling and character-building experience. There is perhaps no better demonstration of the folly of human conceits than this distant image of our tiny world. To me, it underscores our responsibility to deal more kindly with one another and to preserve and cherish the pale blue dot, the only home we've ever known. »

Carl Sagan, "Pale Blue Dot: A Vision of the Human Future in Space", 1997 reprint, pp. 6-7

https://books.google.pt/books?id=rTCr0H6sRSoC&pg=PA1&hl=pt-PT&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false

Em órbita da Terra, quase todos os astronautas, sobretudo a bordo de estações espaciais várias (Skylab, ISS, MIR) ficam geralmente impressionados, até chocados, com a dimensão mínima e frágil, à escala do planeta, que a atmosfera tem. Entre muitas imagens partilhadas e conhecidas, esta imagem "Thin Blue Line" (Figura 2, abaixo) foi tirada pelo astronauta da NASA Scott Kelly, que a publicou no Twitter em 21 de Setembro de 2015, a atmosfera é, somente, uma finíssima linha azul.

«Since the early days of space flight, astronauts have been drawn to the unique view of the atmosphere available from orbit. "For the first time in my life, I saw the horizon as a curved line. It was accentuated by a thin seam... of dark blue light: the atmosphere," said Ulf Merbold, a German astronaut who flew on Space Shuttle Columbia in 1983. "Obviously, this was not the 'ocean' of air I had been told it was so many times in my life. I was terrified by its fragile appearance."» (mesma fonte que a imagem, ligação abaixo)

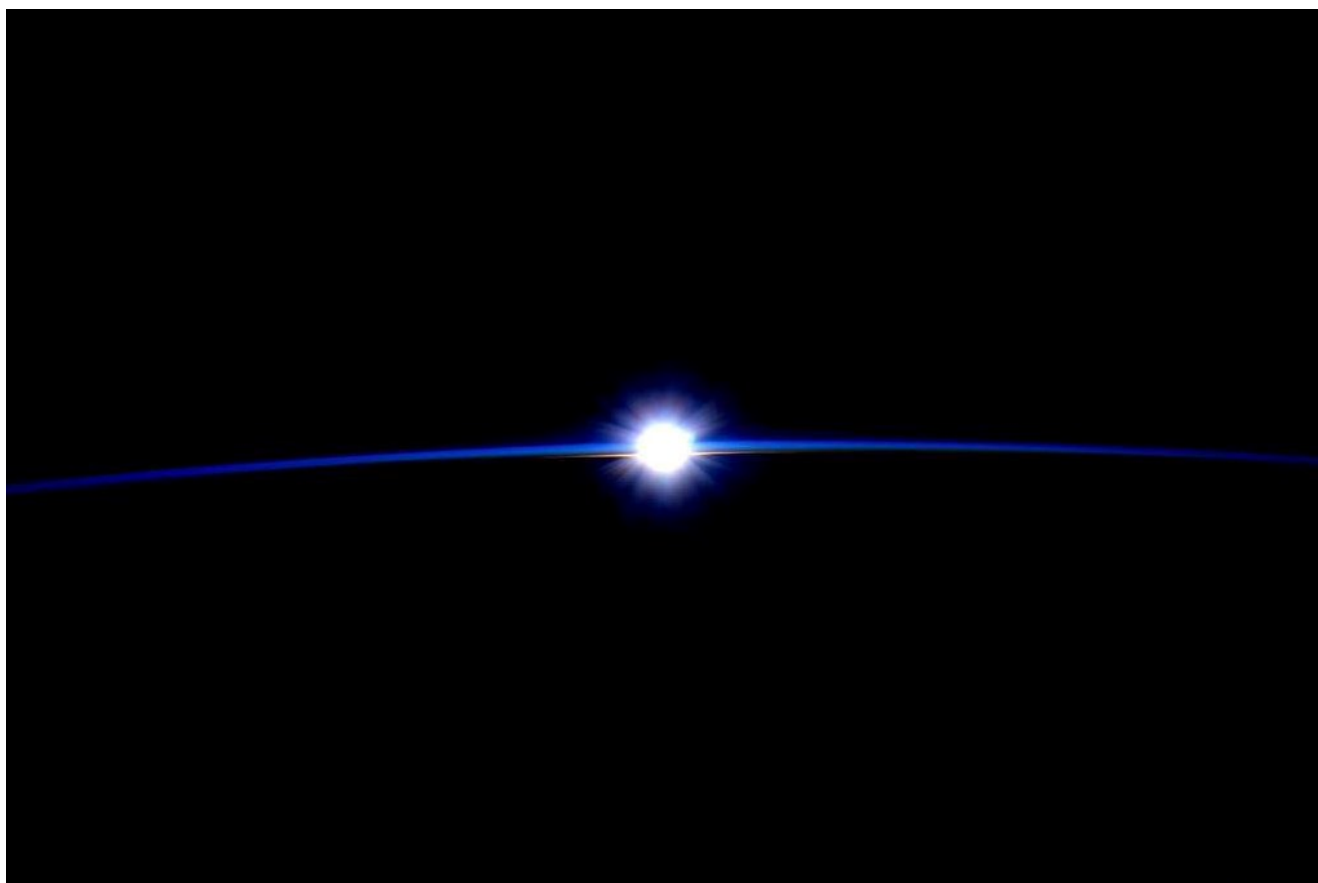


Figura 2 – "Thin Blue Line", Scott Kelly, NASA, 21 de Setembro de 2015.

Fonte: <https://www.flickr.com/photos/nasaeearthobservatory/21447458730>

Efectivamente, temos tendência a olhar para cima e imaginar uma atmosfera muito extensa e “alta”, mas de facto a estratosfera acaba a cerca de 50 km (um pouco menos de 1% do raio da Terra) e a troposfera a 6-18 km (Figura 3, abaixo). Estas camadas podem ser vistas na imagem (Figura 4, abaixo) tirada da ISS (Estação Espacial Internacional) quando o *Shuttle Endeavour* manobrava para acoplar, a 9 de Fevereiro de 2010. Pode-se ver claramente, a laranja a troposfera, a branco a estratosfera e a azul a mesosfera, a Endeavour está a 320 km de altitude, bem acima das três camadas.

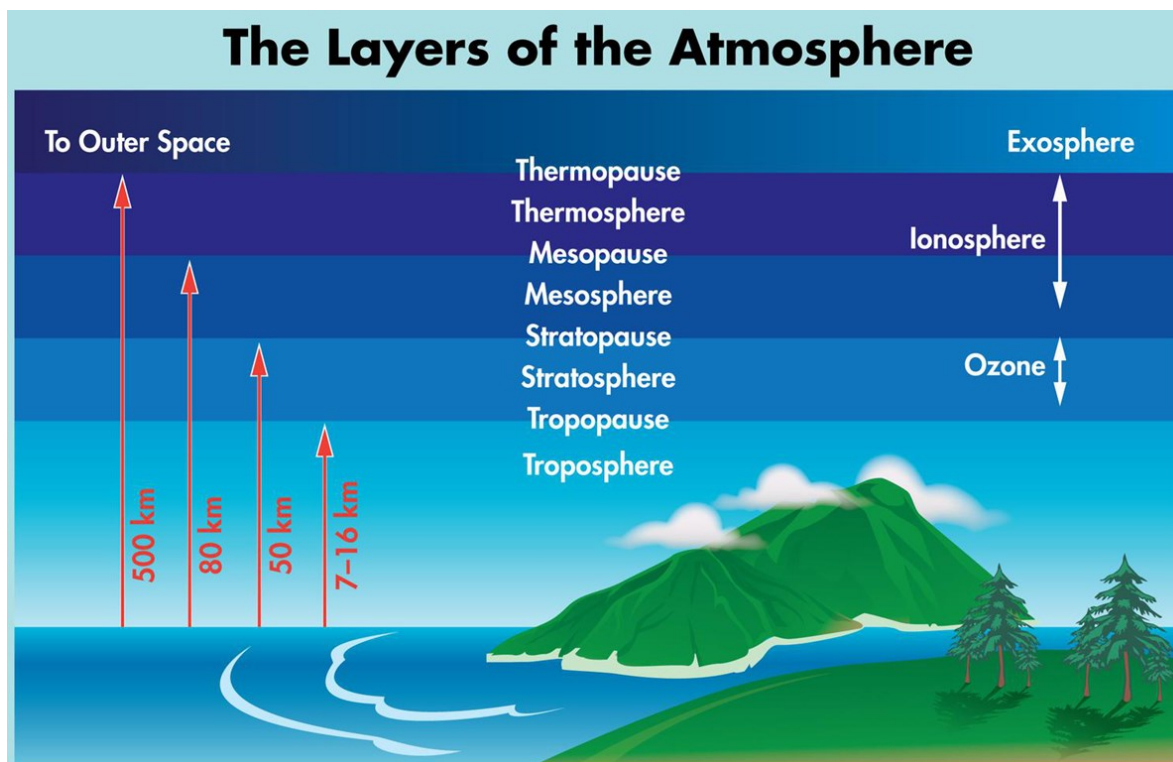


Figura 3 – Camadas da atmosfera, verticalmente não estão à escala.

Fonte: <https://www.aircraftengineer.info/wp-content/uploads/2017/05/layers-of-atmosphere-and-distance.jpg>

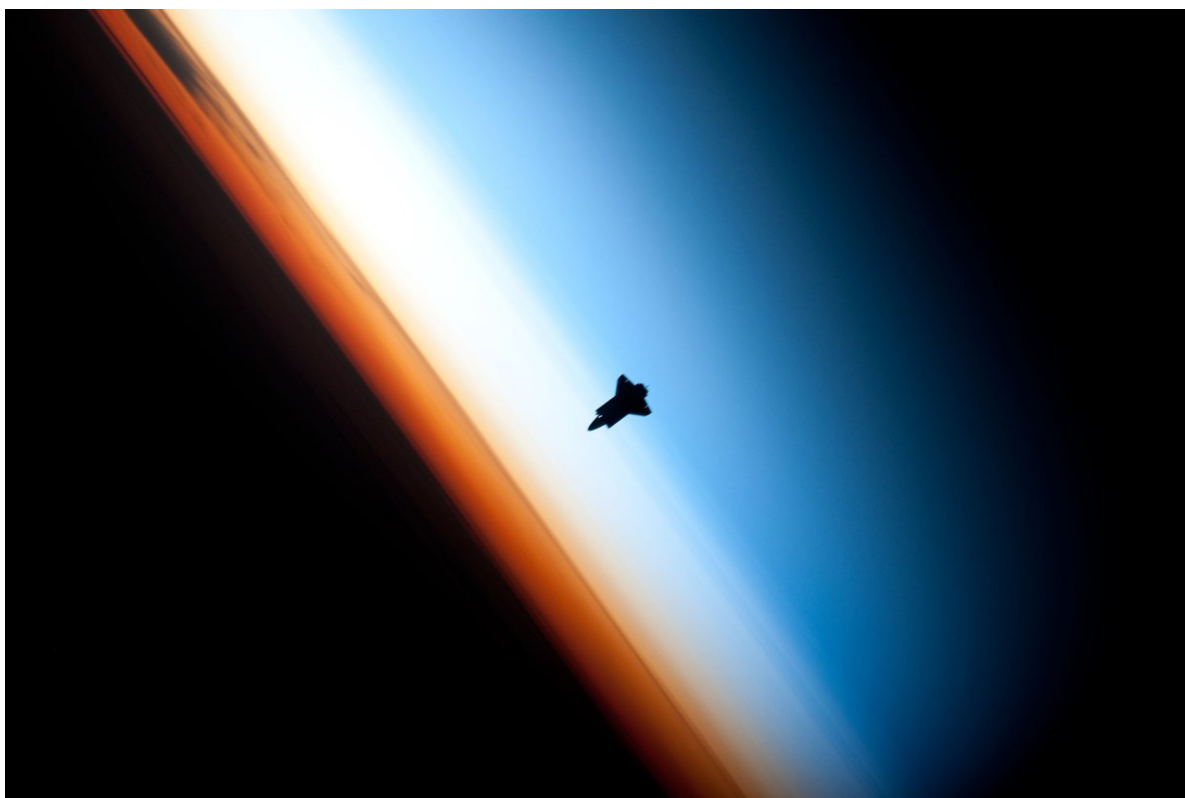


Figura 4 – A silhueta do Space Shuttle Endeavour, contra a atmosfera

Fonte: https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1592.html

Uma das melhores imagens, que permite uma noção real, à escala, da quantidade de ar e água que existem no planeta, representadas como esferas (Figura 5, abaixo), torna clara a fragilidade e vulnerabilidade da atmosfera. Mas se considerarmos somente **a troposfera**, a camada mais baixa, ela **contém cerca de 75 % da massa total da atmosfera e 99 % da massa total de vapor de água e aerossóis** ("Troposphere". Concise Encyclopedia of Science & Technology. McGraw-Hill. 1984), portanto toda a dinâmica climática se passa nos primeiros 15 km a partir do solo, uma camada finíssima e não um interminável "oceano de ar".

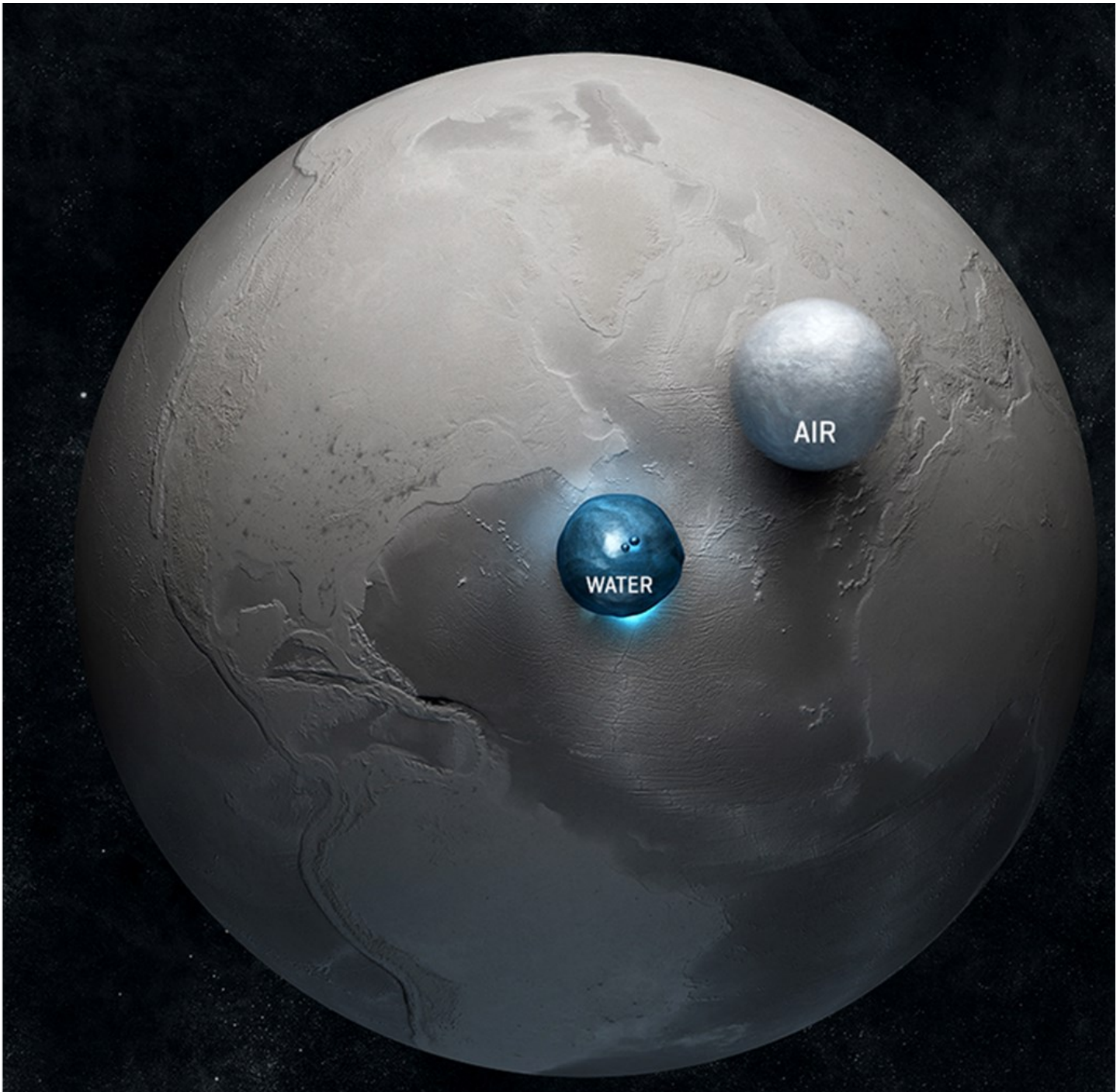


Figura 5 – Ar e água que existem no planeta, representadas como esferas.

Fonte: <https://gizmodo.com/astounding-picture-of-earth-compared-to-all-its-water-1472149072>

Dinâmica da Atmosfera

Depois de ilustrada a estrutura e sobretudo dimensão da porção mais baixa da atmosfera, bastante diferente da percepção que a generalidade da população tem, deve-se abordar outro aspecto, a intensidade, velocidade e amplitude da dinâmica da atmosfera, que também é – infelizmente – percebida de uma forma incorrecta. Qualquer foco de libertação à superfície, seja um vulcão, uma fonte poluente ou uma fuga radioactiva, sujeito a ventos moderados, será espalhado e dissipado por uma grande área e a grandes distâncias, i.e., um vento de 20 km/h em 24 horas, pode “arrastar” algo quase a 500 km de distância.

Se o vento tiver o dobro da intensidade, para efeitos de exemplo, seriam já 1000 km num dia, potencialmente, se ao nível do Equador a circunferência é de aproximadamente 40000 km, em 40 dias o que fosse libertado poderia dar a volta ao planeta, em teoria e como exemplo. Mas, a 45° de latitude, o perímetro é de cerca de 29000 km e de cerca de 16000 km nos círculos polares, o que permite que algo libertado à superfície, sendo os ventos constantes e soprando na mesma direcção, dê rapidamente a “volta à terra” – em teoria.

Significa isto que não é possível certos fenómenos locais deixarem de se tornar, rapidamente, regionais e globais, à superfície, implicando isto naturalmente que, apesar da dispersão, a velocidade a que algo se torna global na atmosfera é, potencialmente muito rápido (vários exemplos a seguir). Caso se passe para a alta atmosfera – topo da troposfera – onde chegam cinzas vulcânicas, fumo de incêndios, vestígios radioactivos de testes nucleares, etc., a velocidade de dispersão é muito maior: a pressão é decrescente, a fricção também e a densidade é cada vez menor. Assim, as correntes de jacto, polares ou subtropicais, a altitudes entre 7 e 12 km, podem chegar aos 400 km/h, o que – teoricamente e para efeitos de exemplificação – implica 100 horas, ao nível do Equador, para dar a volta ao planeta, mas muito menos nas latitudes maiores.

Como se pode ver na animação abaixo (Figura 6, com som, ver em HD), um modelo computadorizado de alta resolução, feito pela NASA em 2014, com base nos dados de CO₂, em que cada segundo corresponde sensivelmente a dois dias, a velocidade a que o dióxido de carbono circula a partir das fontes é enorme. O narrador chama a atenção para vários outros aspectos extremamente interessantes que podem ser explorados: a evolução das estações e o aumento da absorção na Primavera, a assimetria entre os hemisférios, em função das massas continentais, os focos principais de emissão (indústria, incêndios, processos naturais, etc.).

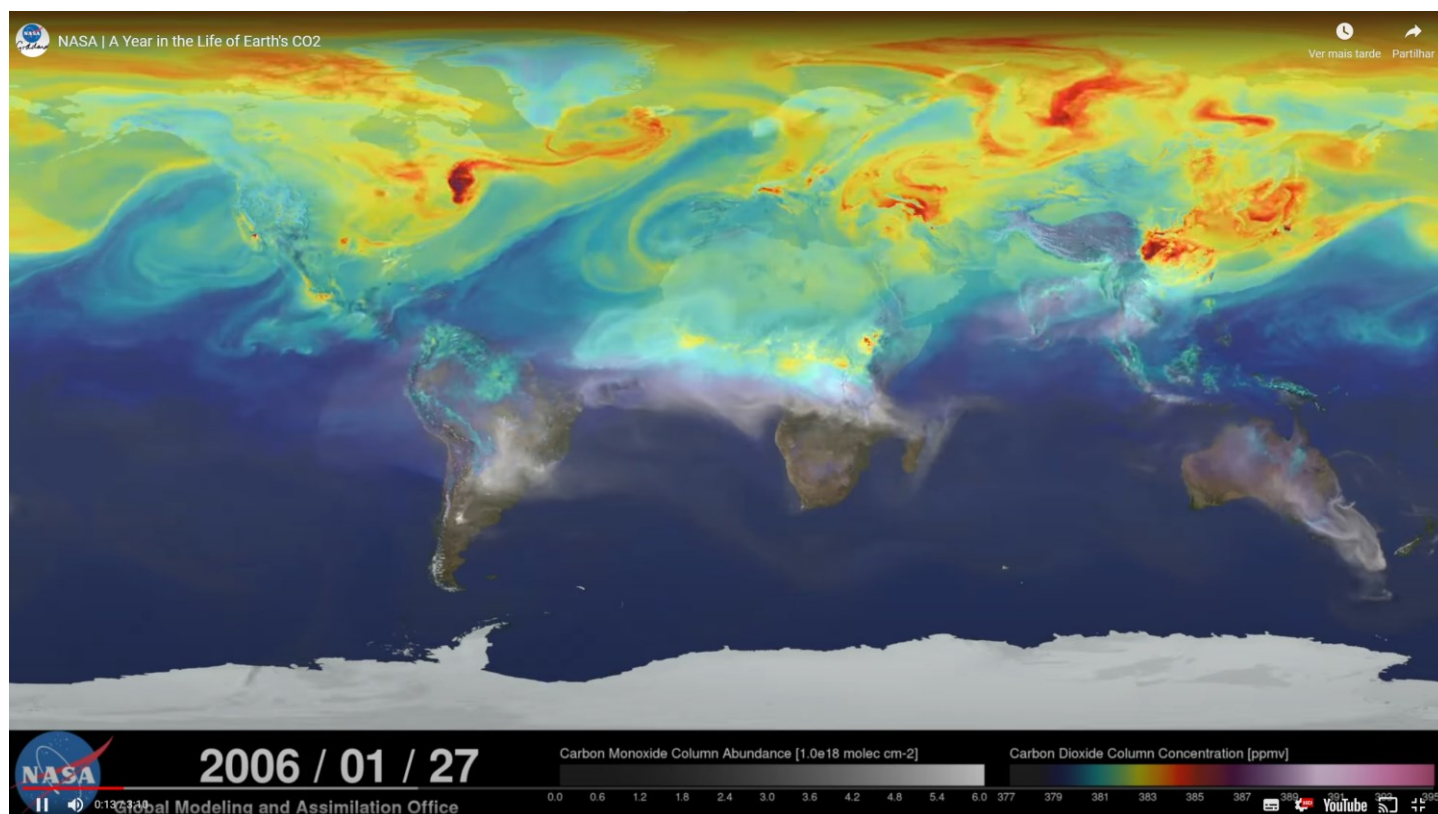


Figura 6 – NASA, “A Year in The Life of Earth's CO₂”.

Fonte: <https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=11719>

Youtube - <https://www.youtube.com/embed/x1SgmFa0r04?feature=oembed>

Esta intensa dinâmica torna claro – caso fosse necessário – como o sistema é fechado, como algo que acontece num ponto se torna global, que a velocidade e extensão desta dinâmica é muito maior do que parece a muitos. Se neste exemplo se misturam fontes de origem de dióxido de carbono antrópicas e naturais, no exemplo seguinte as causas são exclusivamente antrópicas, resultantes de riscos tecnológicos e com impactos sérios (Figura 7, abaixo). A animação representa a dispersão de Césio 137 ⁽¹⁾ no ar ao nível do solo, nuvem radioactiva libertada pela explosão na central nuclear de Chernobyl, com intervalos de 15 minutos, entre 26 de Abril e 10 de Maio de 1986. Neste caso, o que se torna mais evidente, além da distância percorrida, é a forma como a nuvem radioactiva se dispersa e a área total que vai abrangendo, com as consequências correspondentes.

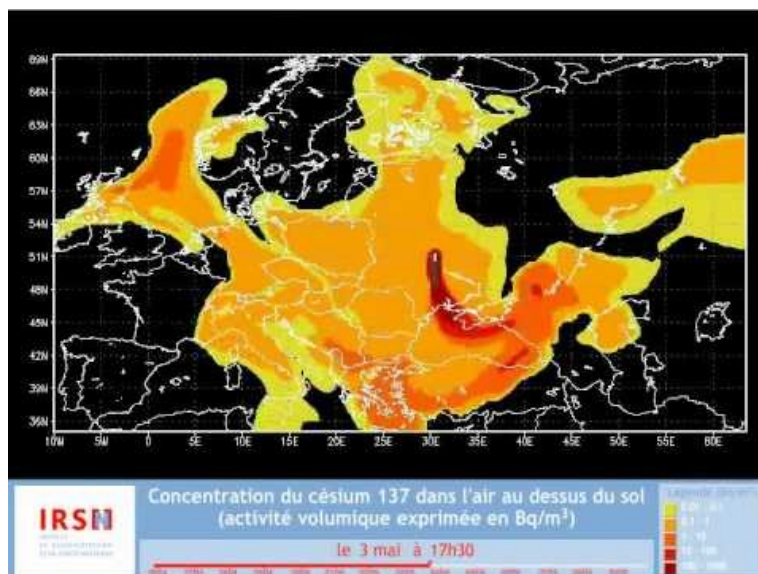


Figura 7 – IRSN, Evolução da nuvem radioactiva de Chernobyl.

Fonte: <https://www.irsn.fr/EN/publications/thematic-safety/chernobyl/Pages/The-Chernobyl-Plume.aspx>

Youtube - <https://www.youtube.com/watch?v=IwxNfy79gl4>

Outro exemplo de dispersão atmosférica, neste caso natural, pode ser visto noutra animação (Figura 8, abaixo), relativa à dispersão de cinzas da erupção vulcânica do Eyjafjallajökull, na Islândia, entre 15 e 23 de Abril de 2010, que levou ao encerramento do espaço aéreo europeu e transatlântico, por receio de danos causados pelas cinzas nos motores dos aviões. Em cerca de uma semana, em função da latitude e altitude que a cinza atingiu, a nuvem espalha-se muito rapidamente e acaba por cobrir uma área enorme.



Figura 8 – Dispersão da nuvem de cinzas da erupção do vulcão Eyjafjallajökull, Islândia, Abril de 2010.

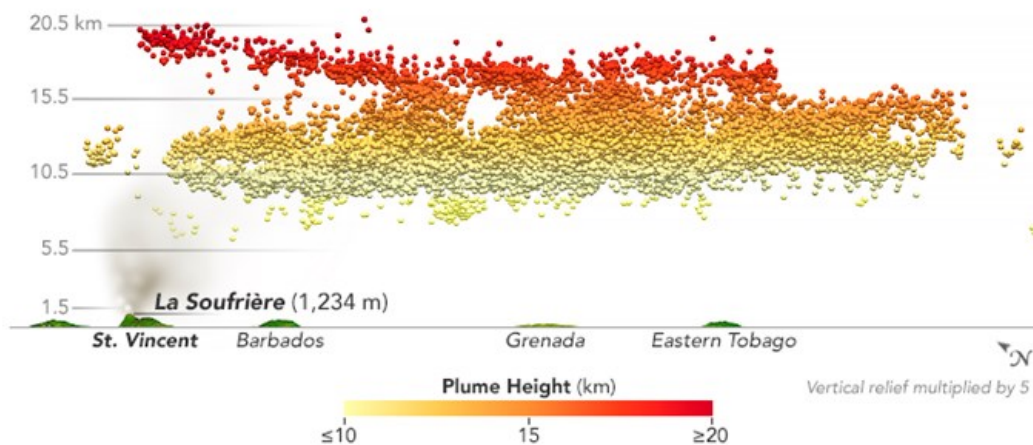
Fonte: <https://www.nasa.gov/topics/earth/features/iceland-volcano-plume-archive1.html>

Youtube - https://www.youtube.com/watch?v=n-Qcxi_I55A&t=1s

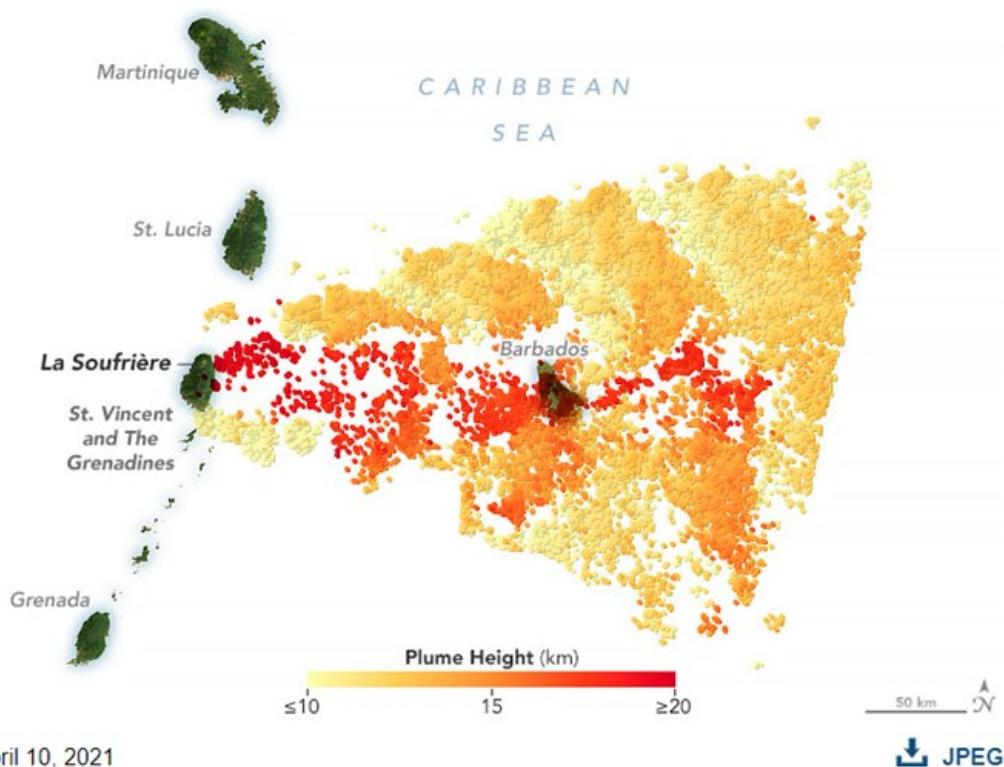
¹ - <https://en.wikipedia.org/wiki/Caesium-137>

Um conjunto de imagens, também de uma erupção, neste caso do vulcão La Soufrière, na ilha caribenha de Saint Vincent, durante Abril de 2021 (Figura 9, abaixo) mostra sobretudo a distribuição vertical, das cinzas e partículas de sulfatos, que atingem vinte quilómetros de altitude e se dispersam rapidamente, estando a estas altitudes sujeitas a ventos fortíssimos.

Tracking La Soufrière's Plume



April 10, 2021



April 10, 2021

Figura 9 – Pluma volcânica do vulcão La Soufrière, na ilha caribenha de Saint Vincent, durante Abril de 2021.

Fonte: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/148190/tracking-la-soufrieres-plume>

Outro exemplo (várias imagens, abaixo), para ilustrar a intensidade da dinâmica atmosférica, a várias altitudes e as distâncias percorridas, diz respeito aos enormes incêndios na Austrália, em Dezembro de 2019 e Janeiro de 2020, mostrando a dimensão da mancha de fumo, a velocidade com que percorreu o Pacífico Sul e chegou à América do Sul, dando depois a volta ao planeta. Também se pode ver a altitude incrível, 25 km, já dentro da estratosfera, a que o fumo chega e como este fumo se vê de órbita.

A altitude a que estes fumos e cinzas chegam levantam outra questão, a sua longa persistência na atmosfera, pois a esta altitude a chuva não pode trazer as partículas “para baixo” no seu trajecto (como acontece em Portugal continental com as poeiras do Sahara precipitadas com a chuva). Assim, além de circularem a uma enorme velocidade e dispersando-se rapidamente, podem ficar muito mais tempo na atmosfera, influenciando mecanismos atmosféricos vários.



Figura 10 – “Swirling Smoke, how Australia's bushfire smoke spread”, 01-12-2019 – 06-01-2020.

Fonte: <https://graphics.reuters.com/AUSTRALIA-BUSHFIRES-SMOK/0100B4W52R7/images/video/desktop.mp4>

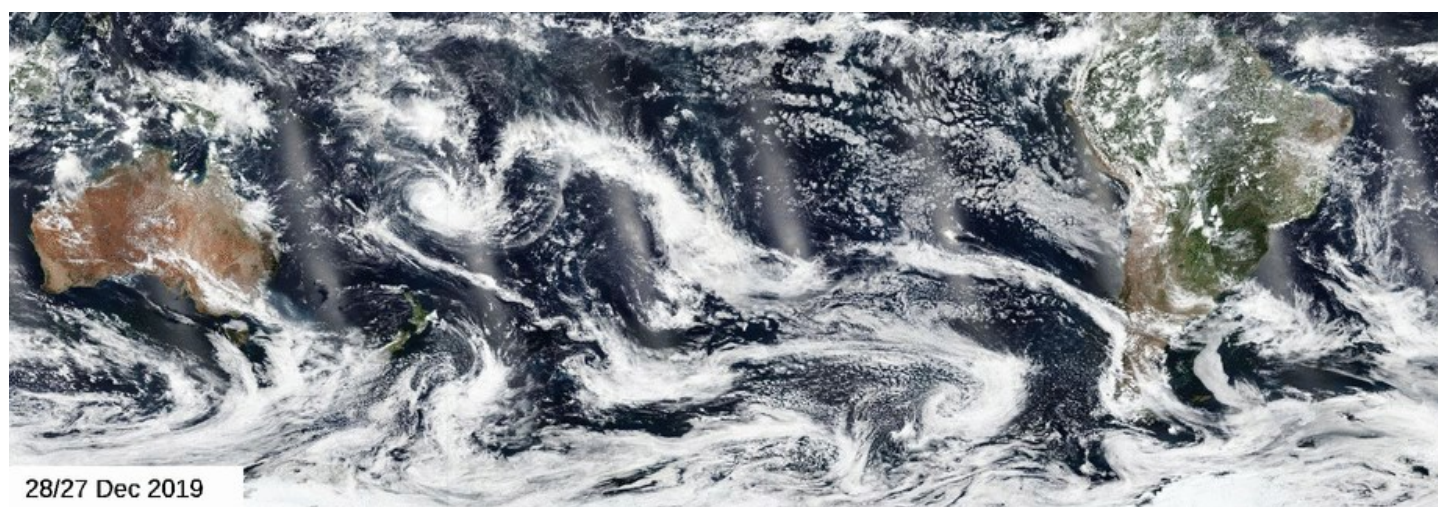


Figura 11 – Dispersão do fumo dos incêndios, 27-28 de Dezembro a 7-8 de Janeiro 2020, imagem VIIRS cor real, GIF animado.

Fonte: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-animates-world-path-of-smoke-and-aerosols-from-australian-fires>

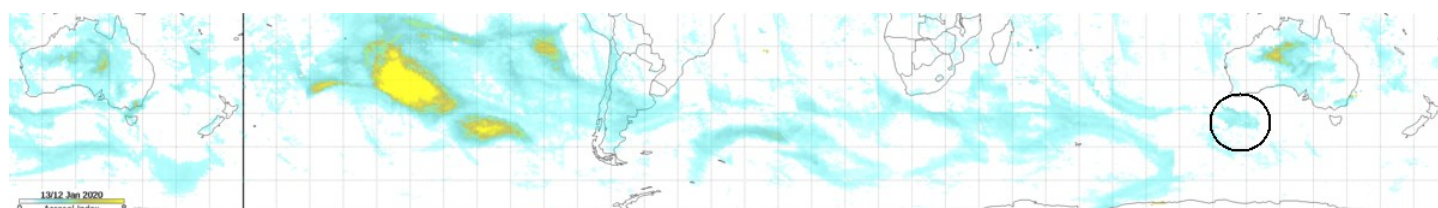


Figura 12 – Imagem Suomi NPP, 12-13 Janeiro 2020, índice de aerossóis.

Fonte: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/>

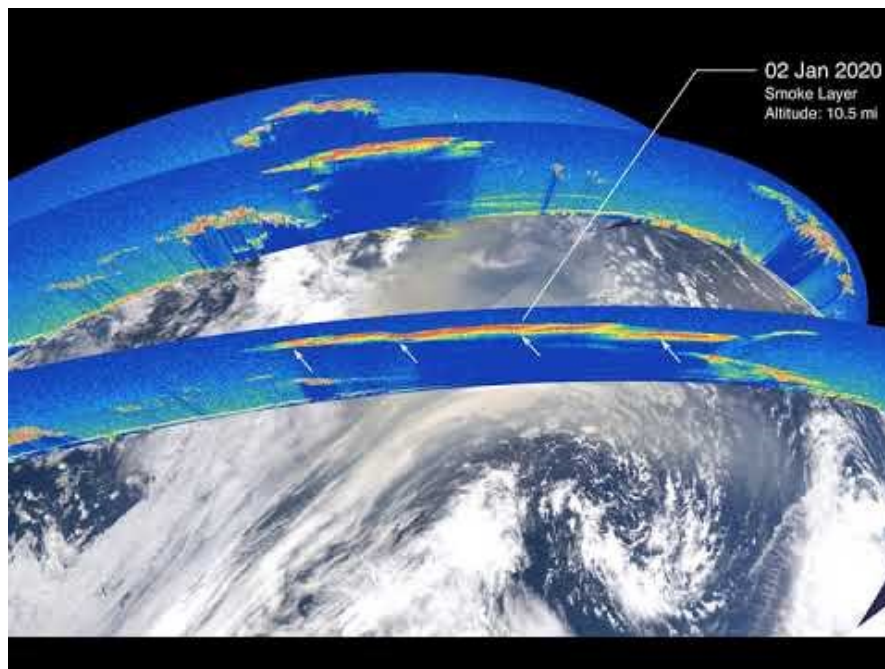


Figura 13 – Animação de imagens NASA – Modis, 31-12-2019 a 05-04-2020, dispersão do fumo e cortes em altitude, ao longo do trajecto, no dia 5 de Janeiro o fumo já estava a mais de 6500 km da origem.

Fonte: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/>

Youtube - <https://www.youtube.com/watch?v=anHG8awnUg>

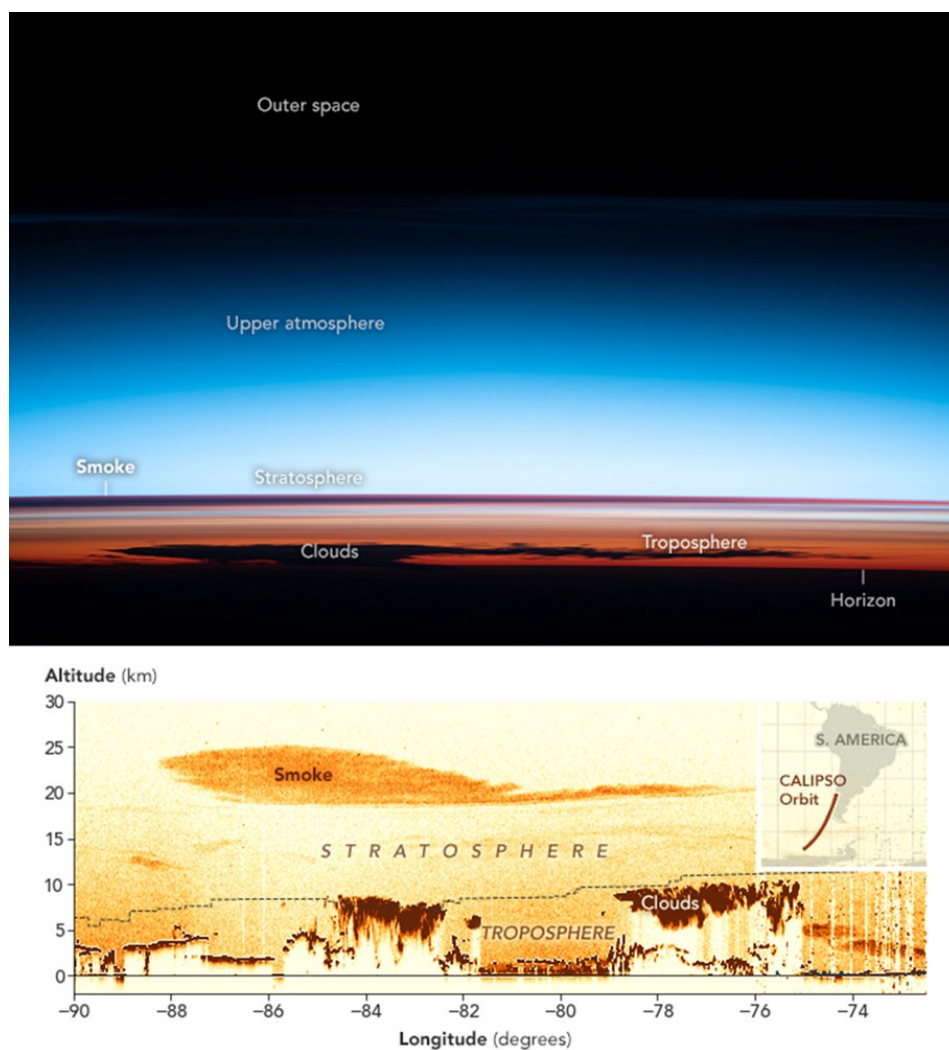


Figura 14 – Foto tirada da Estação Espacial Internacional (13-01-2020), onde é bem visível a extensão e altitude a que o fumo chegou, abaixo perfil vertical atmosférico (23-01-2020).

Fonte: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/148276/smoke-in-the-stratosphere>

Um último exemplo, de Agosto de 2021, quando no dia 20 o fumo e monóxido e carbono dos incêndios da América do Norte começou a atingir o Norte da Península Ibérica (Figura 15 e 16, abaixo) e uma previsão, animada, com dados do ECMWF, de 28 de Julho a 1 de Agosto (Figura 17, abaixo).



Figura 15 – Fumo dos incêndios na América do Norte, atingem a Península Ibérica, MODIS Terra 2021-08-20.
Fonte: <https://www.flickr.com/photos/184249102@N03/>

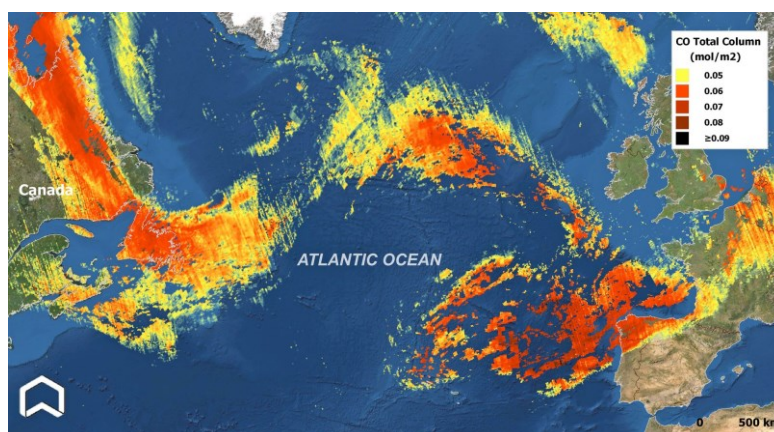


Figura 16 – Porção de monóxido de carbono na coluna de ar, Sentinel 5P, 21 de Agosto de 2021.
Fonte: <https://twitter.com/PlatformAdam/status/1429357824170201088/photo/1>

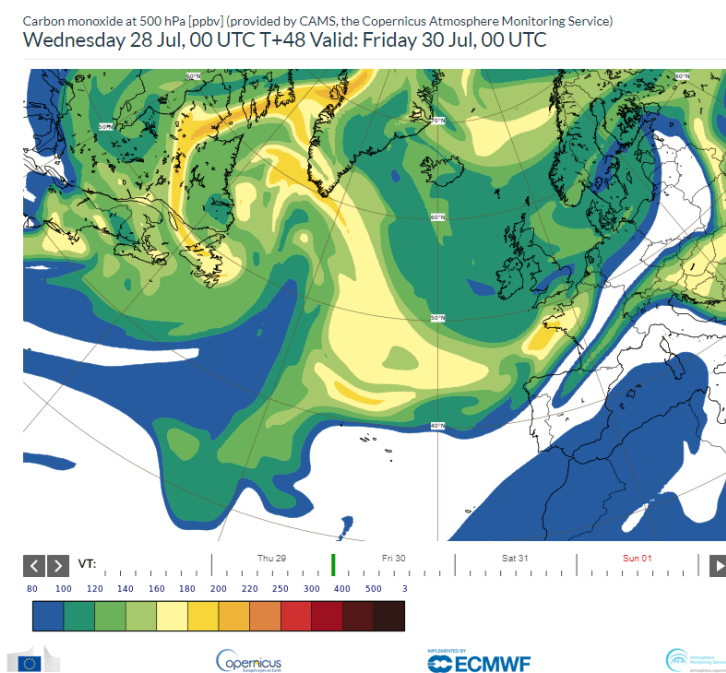


Figura 17 – Previsão, animada, com dados do ECMWF, de 28 de Julho a 1 de Agosto, da porção de monóxido de carbono a 500 hPa (cerca de 5500 metros acima do solo).
Fonte: <https://atmosphere.copernicus.eu/northern-hemisphere-wildfires-follow-pattern-warm-and-dry-weather>

Efeito de estufa

No ponto anterior pretendeu-se demonstrar que a nossa percepção, individual e colectiva, não permite ter uma noção clara da dimensão (massa), estrutura e espessura da atmosfera, nem da intensidade da sua dinâmica, sobretudo, mas não exclusivamente na troposfera, bem como da sua variação em altitude. Assim, há uma tendência para considerar a atmosfera como “gigantesca”, o tal oceano de ar acima de nós, bem como globalmente menos dinâmica e capaz de permitir a dispersão e transporte de partículas várias (gasosas e sólidas) a grandes distâncias, muito rapidamente. Esta percepção dificulta a compreensão do funcionamento da atmosfera e, sobretudo, das alterações climáticas bem como o inequívoco papel da actividade antrópica nas mesmas.

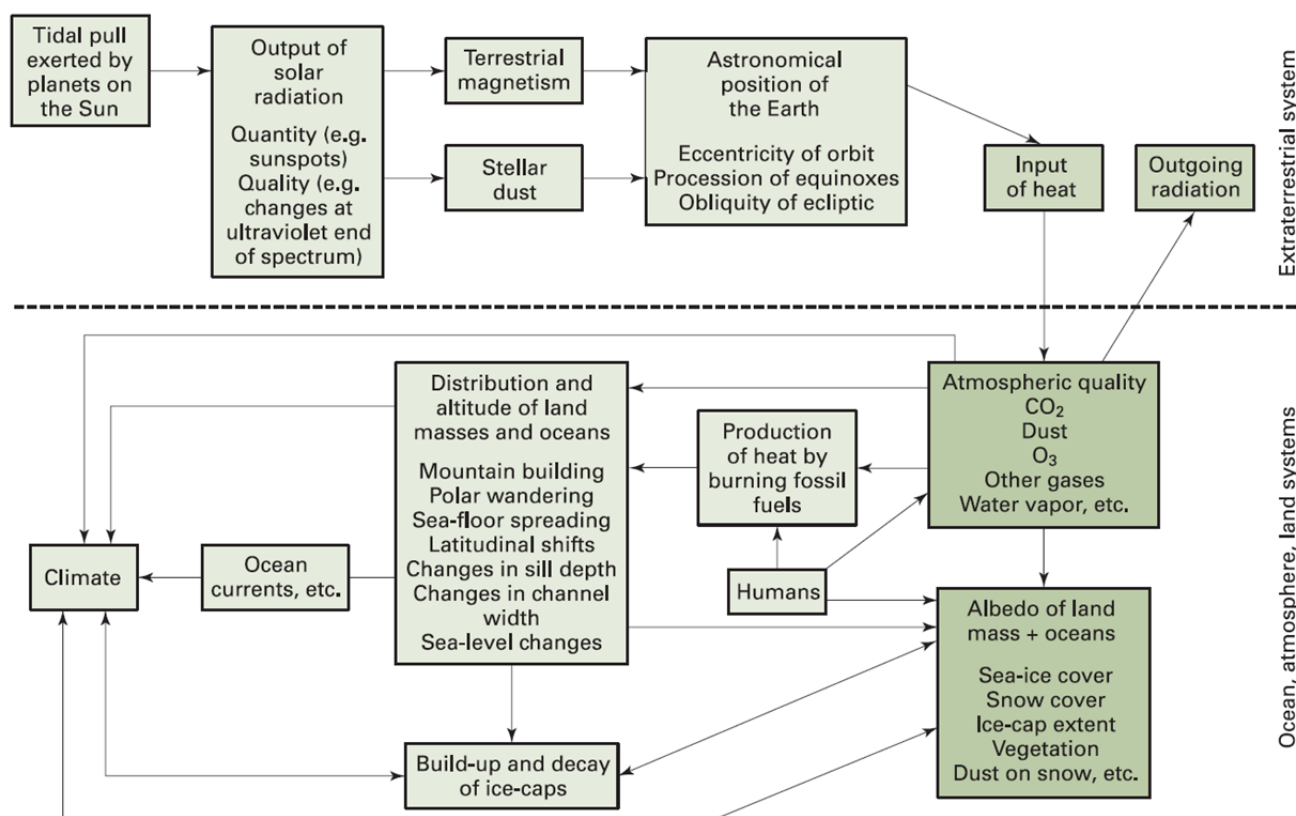


Figura 18 – Esquema de algumas das possíveis influências causadoras de alterações climáticas.

Fonte: GOUDIE, Andrew, "The Human Impact on the Natural Environment", 6ª ed, Oxford, Blackwell, 2009, p. 214

Observando o esquema (Figura 18, acima) podem identificar-se os dois grandes sistemas que influenciam as alterações climáticas: os extraterrestres (absolutamente não controláveis ou influenciáveis pelas actividades humanas) e os terrestres. Nestes, alguns factores, que explicam flutuações climáticas que ocorreram no passado, como a distribuição das massas continentais, orogenias, actividade vulcânica, estão fora da esfera de influência da actividade humana e contribuíram, ao longo de centenas de milhões de anos, para alterações climáticas significativas, que tiveram como extremos um mundo completamente gelado ou quase sem água no estado sólido. Algumas destas alterações climáticas estiveram na origem, ou associadas, a grandes extinções em massa, ao longo da história geológica da Terra, sobretudo nos últimos cerca de 600 milhões de anos ⁽²⁾.

Voltando à Figura 18, centrando a análise no polígono dos Humanos, a actividade antrópica influencia o clima directamente, através da alteração da “qualidade” atmosférica, i.e., da sua composição (as suas actividades libertam gases vários, aerossóis, poeiras), bem como através da alteração das características da superfície terrestre (desflorestação, expansão urbana, grandes infra-estruturas), o que altera o albedo da superfície (a quantidade/proporção de energia que é absorvida e reflectida). Como se demonstrará adiante, sendo do conhecimento geral (ou deveria ser...), as alterações humanas atingiram um grau, extensão e volume absolutamente inegáveis e tornaram-se globais. Quanto à alteração da superfície terrestre, basta ver no Google Earth ou semelhantes (Bing Maps, Apple Maps) a extensão e intensidade das marcas das actividades humanas.

² - https://en.wikipedia.org/wiki/Extinction_event

São as características da atmosfera, a sua composição, que controlam o regime térmico terrestre, pois filtram a energia recebida do sol, que a atravessa até atingir a superfície e filtram a energia que é irradiada a partir dessa mesma superfície depois de aquecida. O efeito de estufa permite, portanto, que a energia irradiada e reflectida não se perca toda para o espaço, permitindo uma temperatura mais alta do que sem atmosfera. Sem efeito de estufa a vida, na Terra, não poderia existir tal como existe, portanto, o efeito de estufa não é, de *per si*, um problema, antes pelo contrário. Contudo, sabe-se que no passado geológico longínquo e já no Quaternário (desde há cerca de 2.5 milhões de anos), alterações importantes da composição da atmosfera, ao controlarem o efeito de estufa, aumentando-o ou diminuindo-o, alteraram significativamente ou dramaticamente (para a vida então existente), as condições de vida na Terra.

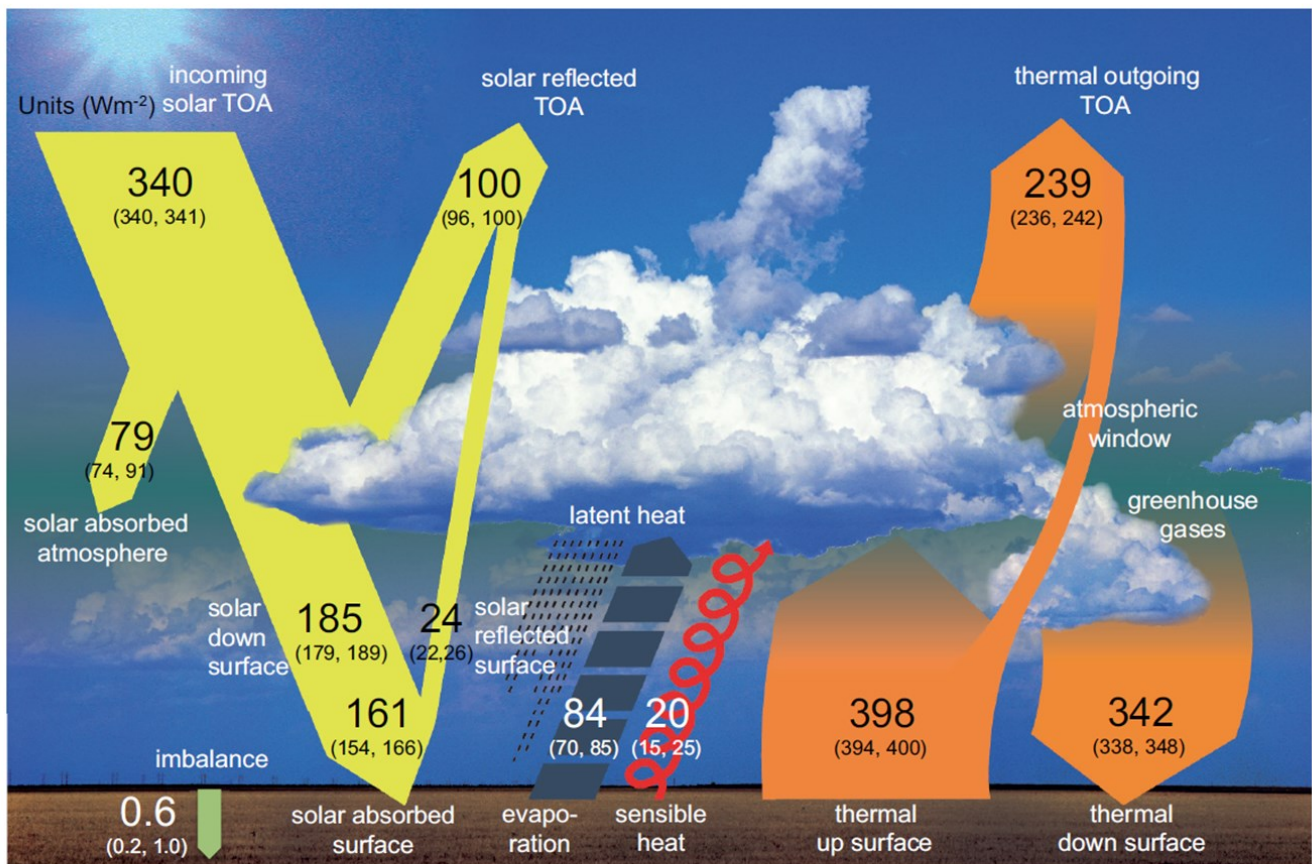


Figure 2.11: | Global mean energy budget under present-day climate conditions. Numbers state magnitudes of the individual energy fluxes in W m^{-2} , adjusted within their uncertainty ranges to close the energy budgets. Numbers in parentheses attached to the energy fluxes cover the range of values in line with observational constraints. (Adapted from Wild et al., 2013.)

Figura 19 – Balanço energético global médio nas condições atmosféricas anuais, fluxos em Wm^{-2} .

Fonte: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Observando o balanço energético global actual (Figura 19, acima), podem-se identificar os fluxos principais: assumindo uma constante solar (média) de cerca de 340 Wm^{-2} , pode-se ver que parte é reflectida pela e na própria atmosfera e outra parte é absorvida, da que chega à superfície parte é reflectida e outra parte (maior) absorvida. O que controla esta proporção são as características da superfície (material, cor), o albedo, sendo que esta é a energia que vai “aquecer” a superfície (terrestre, marinha e atmosfera directamente por cima). Parte desta energia, da superfície, é perdida sob a forma de calor latente (evaporação) e sensível, a outra parte é irradiada, no domínio espectral dos infravermelhos térmicos, mas somente uma parte consegue atravessar a “janela atmosférica” e perder-se para o espaço.

A parte que é mantida, que retorna, é o resultado do efeito de estufa, que no balanço geral dá origem a um desequilíbrio positivo de 0.6 Wm^{-2} (há medições entre 0.2 e 1.0). Os gases que controlam o efeito de estufa fazem-no porque absorvem energia em vários comprimentos de onda do espectro electromagnético (ver Figura 20, abaixo), sendo “transparentes” noutros (a tal janela atmosférica). O vapor de água e o dióxido de carbono são os principais gases de efeito de estufa, como se pode ver no gráfico, sobretudo a água, algo que empiricamente sabemos quando vemos a amplitude térmica diurna aumentar, muito, em situações de Inverno quando se passa de massas de ar húmidas para ar seco e frio, ou em desertos quentes, com ar extremamente seco, onde as temperaturas descem abruptamente à noite, originando grandes amplitudes térmicas diárias.

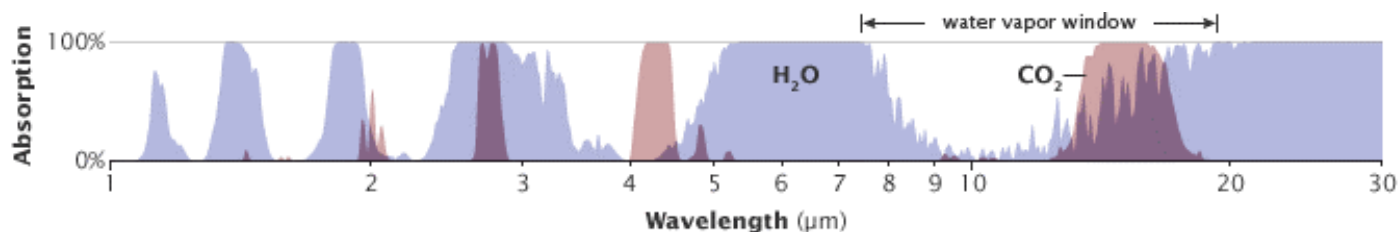


Figura 20 – Os gases atmosféricos absorvem alguns comprimentos de onda, mas são transparentes a outros. Na imagem os picos de absorção da água, a azul e do dióxido de carbono, a rosa. O vapor de água é um forte gás de efeito de estufa, mas é nos comprimentos de onda de calor irradiado pela superfície (infravermelho térmico), que o CO₂ tem um papel decisivo para o efeito de estufa.

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_effect#/

Portanto, o vapor de água é o principal gás de efeito de estufa, mas como se verá adiante, o que controla a sua quantidade na atmosfera é a temperatura, a humidade máxima absoluta de uma massa de ar, exemplificando: a -25 ° C um metro cúbico de ar pode conter 0.640 Kg de água, a 0 ° C pode conter 4.89 Kg/m³ e a 40° C 51.1 Kg/m³ ⁽³⁾. O outro gás que controla o efeito de estufa, o dióxido de carbono, tem um papel essencial, pois tem um pico de absorção em torno dos 12-15 micrómetros (infravermelho térmico), que é precisamente o comprimento de onda em que a superfície da Terra irradia energia, fechando a "janela" atmosférica à saída de calor (ver Figura 19, fluxo descendente mais à direita).

Como veremos a seguir, no seguimento do esquema da Figura 18 (influência humana na composição da atmosfera), as actividades humanas produzem enormes quantidades de dióxido de carbono (examinaremos muitos dados sobre isso mais à frente), que apesar de existir em pequena proporção na atmosfera (actualmente cerca de 415-20 ppm – partes por milhão), controla o calor irradiado a quase 100% (Figura 20).

³ - https://www.engineeringtoolbox.com/maximum-moisture-content-air-d_1403.html

Ciência

Será que o conhecimento sobre a influência que o dióxido de carbono, presente na atmosfera, tem na temperatura do ar é recente? De forma alguma, em 1896, Svante Arrhenius ⁽⁴⁾, um químico sueco que tentava explicar as várias idades do gelo no Quaternário, estimou como o aumento de dióxido de carbono, à época denominado ácido carbônico, levaria a um aumento da temperatura do ar, identificando-o como responsável pelo efeito de estufa e, acrescentando, que as emissões antrópicas – queima de combustíveis fósseis e outros – eram, já na altura, suficientes para explicar a subida da temperatura.

O seu artigo (Figura 21, abaixo), "On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground", publicado no *Philosophical Magazine and Journal of Science* Series 5, Volume 41, April 1896, pages 237-276, está disponível, na íntegra, em: http://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf

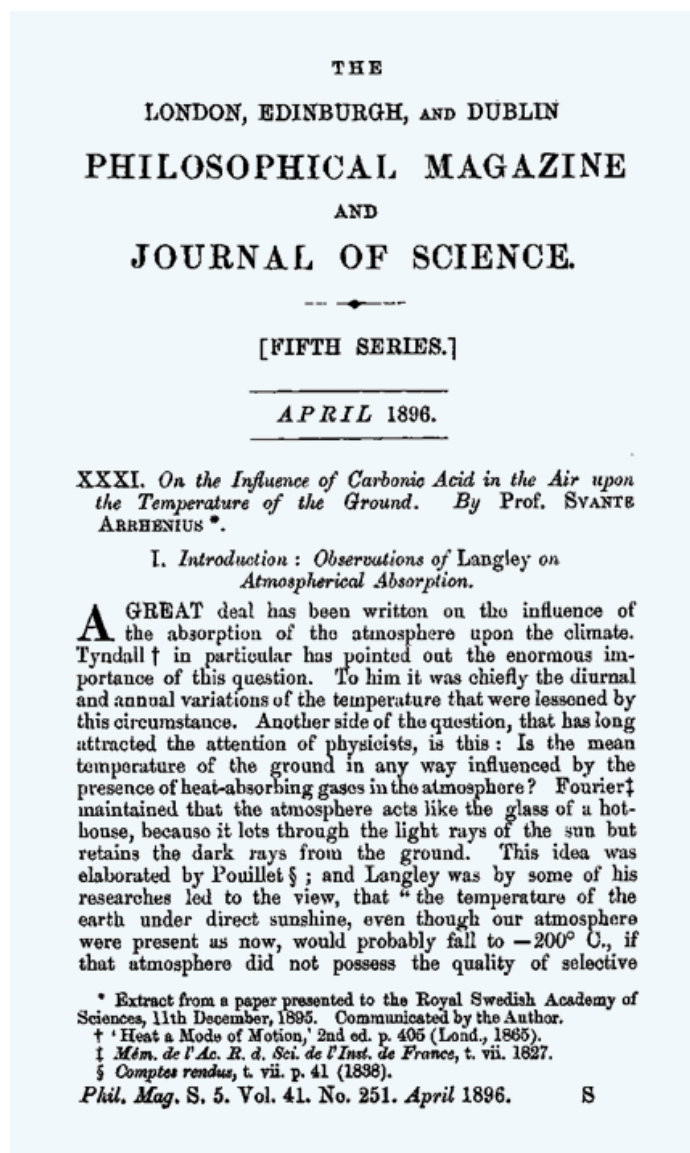


Figura 21 – "On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground".

Fonte: http://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf

Em Maio de 1956, Gilbert Plass, um físico canadiano ⁽⁵⁾, que estudava as implicações do aumento de concentração de dióxido de carbono na atmosfera, com origem em fontes industriais e o consequente aumento de temperatura na Terra, explicou o mecanismo do efeito de estufa e a sua relação com a absorção do infravermelho térmico, além de produzir medições e estimativas, publica "The Carbon Dioxide Theory of Climate Change", disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/> (Figura 22, abaixo).

⁴ - https://en.wikipedia.org/wiki/Svante_Arrhenius

⁵ - https://en.wikipedia.org/wiki/Gilbert_Plass

The Carbon Dioxide Theory of Climatic Change

GILBERT N. PLASS

First published: May 1956 | <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1956.tb01206.x> | Cited by: 32

Advertisement

This work was sponsored by the U.S. Office of Naval Research. This article was completed while the author was on leave of absence at Michigan State University, East Lansing, Michigan. Present address: Systems Research Corporation, Van Nuys, California.

Table 1. Major factors in the CO₂ balance at the present time

	tons/year	
Photosynthesis	-60×10^9	organic world
Decay, respiration	$+60 \times 10^9$	
Formation of new coal beds and other organic deposits	-0.01×10^9	
Weathering of igneous rocks	-0.1×10^9	inorganic world
Released from interior of earth by hot springs, volcanoes, etc.	$+0.1 \times 10^9$	
Combustion of fossil fuels; clearance of forests; cultivation of land	$+6.0 \times 10^9$	man's activities

Figura 22 – “The Carbon Dioxide Theory of Climate Change”, cálculos CO₂.

Fonte: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/>

No final do resumo do artigo pode ler-se: “The extra CO₂, released into the atmosphere by industrial processes and other human activities may have caused the temperature rise during the present century. In contrast with other theories of climate, the CO₂ theory predicts that this warming trend will continue, at least for several centuries”. Além de todos os cálculos, como os da tabela acima, em que identifica e quantifica as emissões pelas actividades humanas (queima de combustíveis fósseis, desflorestação e agricultura), estimou que: a duplicação do teor de dióxido de carbono implicaria um aquecimento de 3.6 °C do planeta, que ⁽⁶⁾ em 2000 os níveis seriam 30% superiores a 1900 e que o planeta estaria 1° C mais quente em 2000 do que em 1900. Segundo o IPCC, em 2007, a estimativa actual é de 2 a 4.5 °C em caso de duplicação de concentração, 37% de aumento de concentração desde tempos pré-industriais e um aquecimento 1900-2000 de cerca de 0.7 °C.

Portanto, a ciência conhece o fenómeno e mecanismo do efeito de estufa há muito tempo, conhece a sua relação com a libertação de gases de efeito de estufa pelas actividades humanas, conhece e quantificou tudo isto e, com muita precisão, estimou as consequências futuras da continuação do aumento desta concentração. Mais, estes resultados eram há muito, também, conhecidos pelas grandes empresas ligadas à exploração e comercialização de combustíveis fósseis, que tentaram o máximo possível esconder e desvalorizar este facto ⁽⁷⁾, algumas continuam a fazê-lo activa e vigorosamente.

⁶ - https://en.wikipedia.org/wiki/Gilbert_Plass

⁷ - Ver, por exemplo: <https://www.scientificamerican.com/article/exxon-knew-about-climate-change-almost-40-years-ago/>, <https://insideclimatenews.org/news/05042018/>, <https://www.greenpeace.org/usa/ending-the-climate-crisis/exxon-and-the-oil-industry-knew-about-climate-change/exxons-climate-denial-history-a-timeline/>

Mas continuemos, então, com os factos e aquilo que a ciência reporta e estuda. O dióxido de carbono é, claramente, o gás de efeito de estufa que maior contributo dá, em termos energéticos e por unidade de superfície, para aumentar a energia retida na atmosfera, ao fechar a "janela" nos comprimentos de onda do calor irradiado, como se pode ver na imagem (Figura 23, abaixo), embora existam outros, como o Metano (CH_4), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de enxofre (N_2O), o ozono (O_3), o ácido nítrico (HNO_3) ou os clorofluorcarbonetos (CFC). O que é também interessante nesta figura, é que as actividades humanas são responsáveis pela libertação, e consequente aumento de concentração, de todos estes gases (embora não exclusivamente), embora os valores do CO_2 sejam esmagadoramente maiores em volume de emissões.

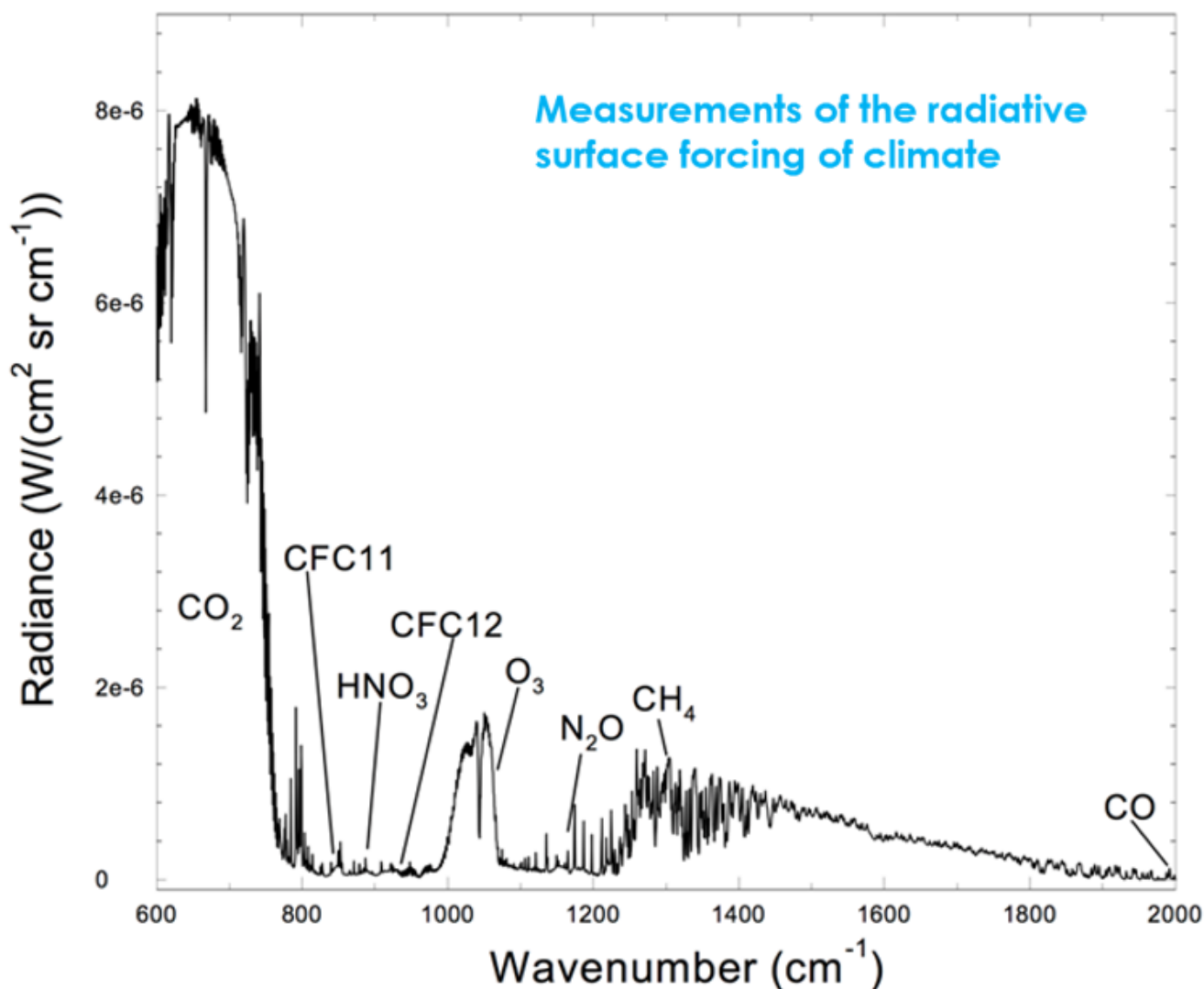


Figura 23 – Medição do contributo radiactivo de vários gases para o aquecimento do clima.

Fonte: https://www.researchgate.net/publication/287078051_Measurements_of_the_radiative_surface_forcing_of_climate

Este facto é muito importante, porque embora o vapor de água seja o principal gás de efeito de estufa, ele não controla a temperatura, mas é sim controlado por ela, como referido antes. Este é um ponto importante, que convém esclarecer e desmistificar, pois é um argumento utilizado por negacionistas das alterações climáticas (ver Figura 24, abaixo, bem como a fonte respectiva). Aliás, a questão é muito mais preocupante, porque há um mecanismo de *feedback* positivo: quanto mais quente a atmosfera, em virtude do aumento da concentração de dióxido de carbono e aquecimento global resultante, maior a quantidade de água por volume de ar, o que leva, por sua vez, a um maior aumento do efeito de estufa dessa massa de ar. Mas o factor que controla esse teor é a temperatura, não o contrário.

It's Water Vapor, Not the CO₂

ACS Climate Science Toolkit | Narratives

Remark: "The Earth has certainly been warming since we have added so much CO₂ to the atmosphere from fossil fuel burning."

Reply: "Forget the CO₂. Water vapor is the most important greenhouse gas. It controls the Earth's temperature."

It's true that water vapor is the largest contributor to the Earth's greenhouse effect. On average, it probably accounts for about 60% of the warming effect. However, water vapor does not control the Earth's temperature, but is instead controlled by the temperature. This is because the temperature of the surrounding atmosphere limits the maximum amount of water vapor the atmosphere can contain. If a volume of air contains its maximum amount of water vapor and the temperature is decreased, some of the water vapor will condense to form liquid water. This is why clouds form as warm air containing water vapor rises and cools at higher altitudes where the water condenses to the tiny droplets that make up clouds.

Figura 24 – É o vapor e não o CO₂...

Fonte: <https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/climatesciencenarratives/its-water-vapor-not-the-co2.html>

Ora o que sabemos, então, da evolução dos teores de dióxido de carbono na atmosfera, nas últimas centenas de anos? Como podemos comparar a situação actual, pós-industrial, com o que se passava quando os impactos das actividades humanas eram muito menores e existia muito menos população? Podemos reconstituir a composição da atmosfera desde o advento da agricultura e sedentarização (cerca de 12 mil anos, o Holoceno) ou até mais atrás? Podemos, existem vários métodos para os períodos mais recentes, anéis das árvores, estudo de turfeiras, sedimentos nos lagos, entre outros, mas visto que todo o Quaternário, desde há cerca de 2 – 2.5 milhões, foi um período de arrefecimento, embora com "altos e baixos" (períodos glaciários e interglaciários), sabemos que a neve se foi acumulando e transformando, ininterruptamente, em gelo nas massas continentais das altas latitudes, i.e. Gronelândia e Antárctica.

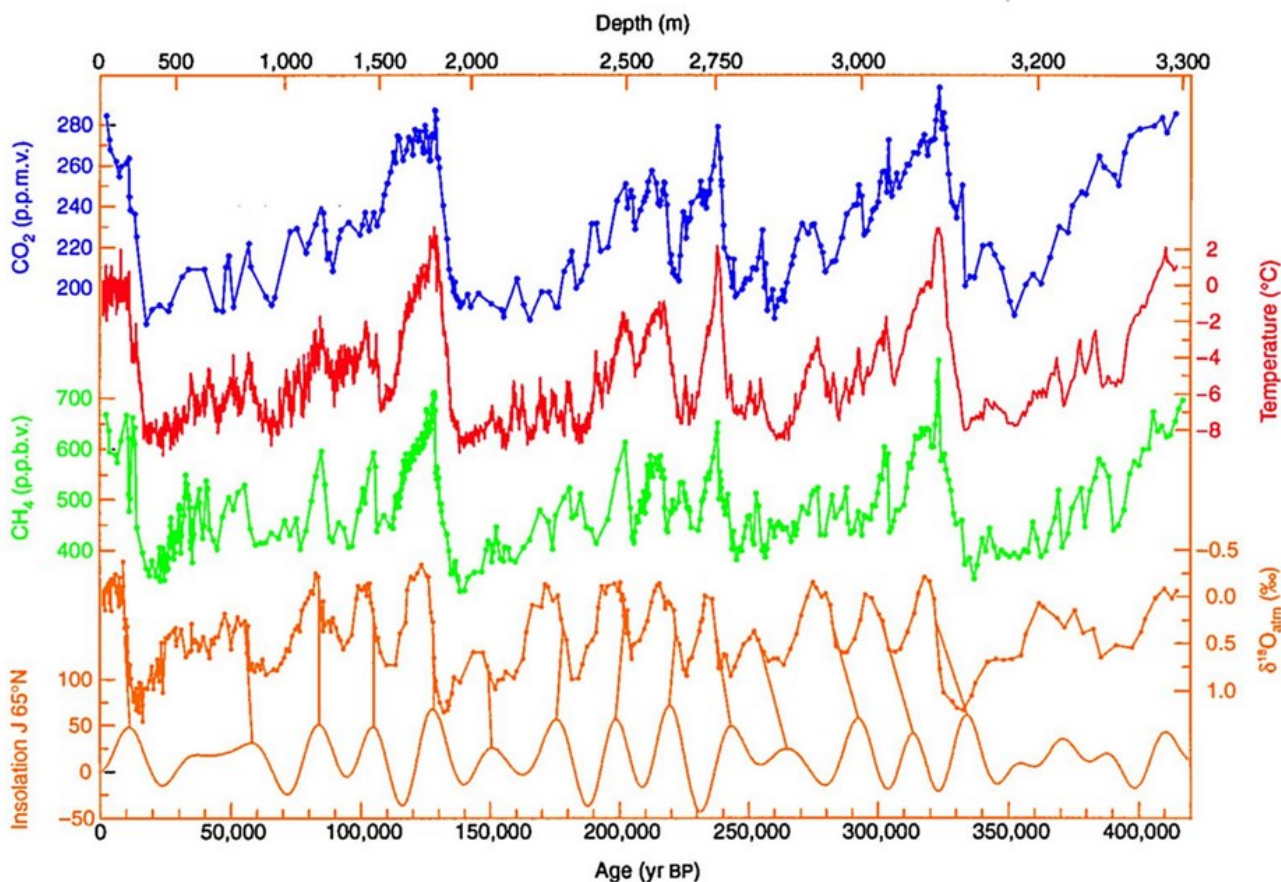


Figura 25 – Coluna de gelo de Vostok, Janeiro de 1998, 3623 metros de profundidade, cerca de 420 mil anos.

Fonte: <https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/co2/vostok.html>

Assim, se fosse possível perfurar estas massas de gelo, em profundidade, e estudar (glaciologia) a coluna de gelo (ice core), seria possível medir os gases aprisionados e reconstituir a composição passada da atmosfera. Isso foi feito em 1998, na estação Russa de Vostok ⁽⁸⁾ na Antártida, que tem o recorde de temperatura mínima máxima absoluta do planeta (-89.2 ° C), numa colaboração entre a Rússia, E.U.A. e França, tendo-se atingido uma profundidade máxima de 3623 metros, que corresponde a cerca de 420 mil anos no passado, como se pode ver no gráfico (Figura 25, acima). A análise do gelo permite ver os níveis de dióxido de carbono (a azul), de metano (a verde), a concentração de oxigénio 16 (a sépia, o rácio entre o isótopo de oxigénio 16 e 18 – leve e pesado – é um indicador directo da temperatura), bem como a insolação (a sépia e “deduzida” pela concentração de oxigénio 16) e a temperatura do ar (a vermelho, determinada pela quantidade de deutério).

Analisando o gráfico (Figura 25, acima), percebe-se que a insolação recebida pela terra, controlada pelos ciclos de Milankovitch ⁽⁹⁾, que explicam os vários períodos glaciares e interglaciares, em função dos movimentos da Terra (excentricidade da órbita à volta do sol, inclinação do eixo de rotação, precessão axial, precessão dos equinócios e inclinação orbital), vai determinar a evolução das temperaturas. Simplificando, mesmo que com *décalages* ligeiras, existe uma relação clara entre a concentração de CO₂ e a temperatura, aumentam em conjunto, o metano acompanha (em virtude do degelo do solo e sua libertação nas altas latitudes). Estas flutuações enquadram-se em ciclos totalmente naturais, explicados por Milankovitch, sendo que não podem, pela sua antiguidade e carácter, ser de forma alguma relacionadas com as actividades humanas.

Em 2004, o projecto EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) ⁽¹⁰⁾, conseguiu fazer uma perfuração não tão profunda (3270 m, 5 metros acima da rocha mãe subjacente), mas que cobre um período mais longo de tempo (cerca de 740 mil anos), revelando oito ciclos glaciares (Ver Figura 26, abaixo). Esta perfuração valida e correlaciona, totalmente, com a de Vostok como se pode ver no gráfico (Figura 27, abaixo), havendo também uma relação perfeita, como é natural, com os volumes de gelo global.

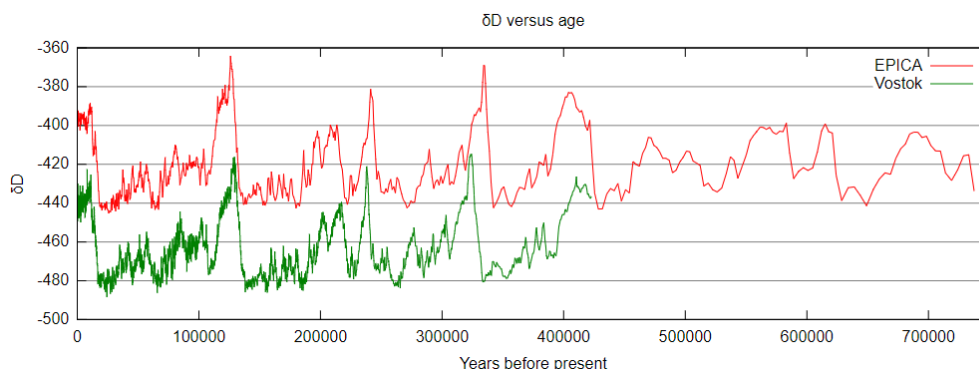


Figura 26 – Ice cores Vostok e Epica, variação da concentração de deutério, δD (‰ partes por mil), indicador aproximado da temperatura, Vostok é mais frio, daí os valores mais negativos.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/EPICA_delta_D_plot.svg

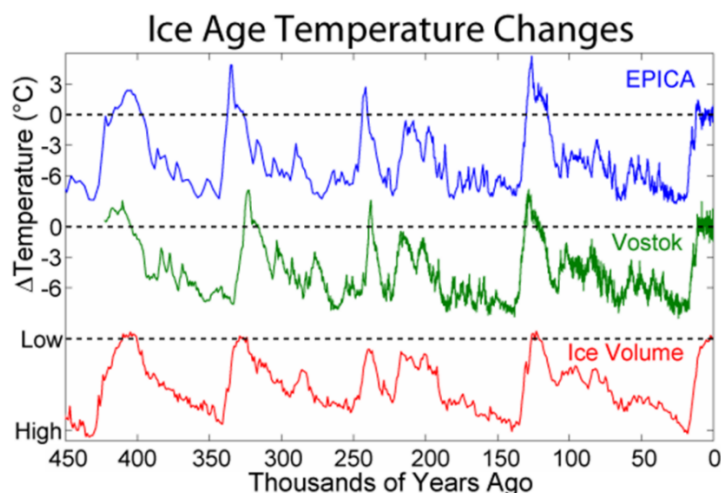


Figura 27 – Comparação dos ice cores EPICA e Vostok.

Fonte: <http://www.antarcticglaciers.org/glaciers-and-climate/ice-cores/ice-core-basics/>

⁸ - https://en.wikipedia.org/wiki/Vostok_Station

⁹ - https://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles

¹⁰ - https://en.wikipedia.org/wiki/European_Project_for_Ice_Coring_in_Antarctica

Há, portanto (com base no exposto e outros fontes e métodos), garantida e inequivocamente, uma relação entre o teor de CO₂ na atmosfera, a temperatura global e, conseqüentemente, a quantidade de gelo e nível médio do mar correspondente. A questão central, como se pode ver no gráfico (Figura 25, acima), é que a concentração máxima de dióxido de carbono, nos interglaciares, rondou as 280 ppm, com um máximo de cerca de 290 ppm no pico, há aproximadamente 360 mil anos. No entanto, a partir de 1950 este valor foi ultrapassado, estando a aumentar a um ritmo crescente e nunca visto (ver Figura 28, abaixo), até valores próximos de 420 ppm ⁽¹¹⁾. Dividindo este período em quatro partes, últimos 400 mil anos, últimos 1000 anos, revolução industrial e últimos 25 anos (ver Figura 29, abaixo), torna-se ainda mais clara a aceleração deste incremento.

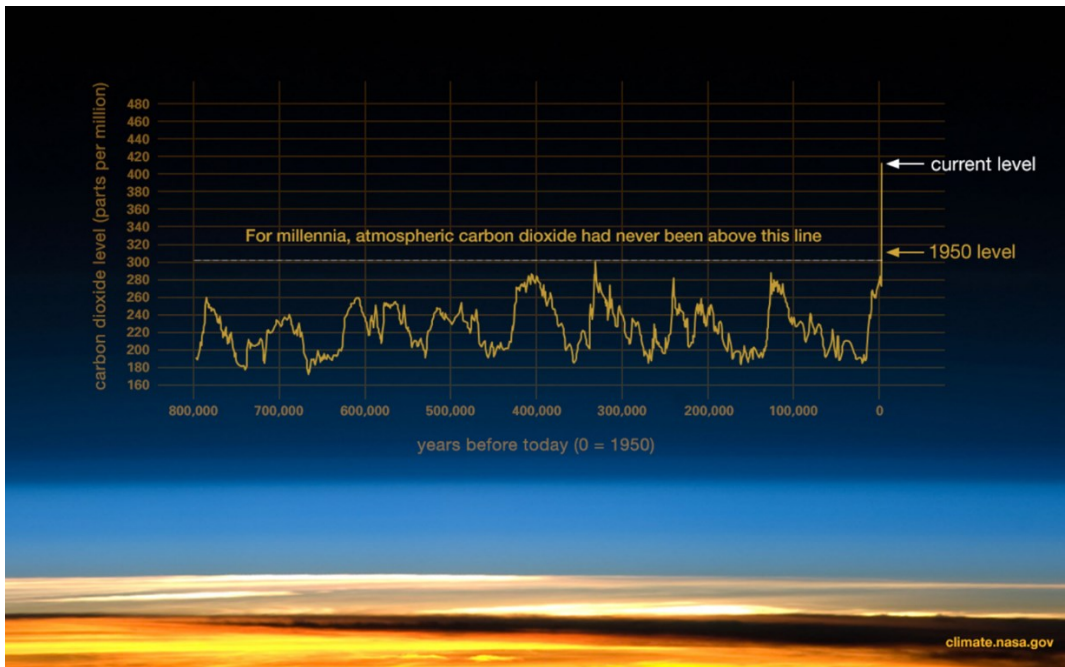


Figura 28 – Concentração atmosférica de dióxido de carbono, desde há 800 mil anos.

Fonte: <https://climate.nasa.gov/evidence/>

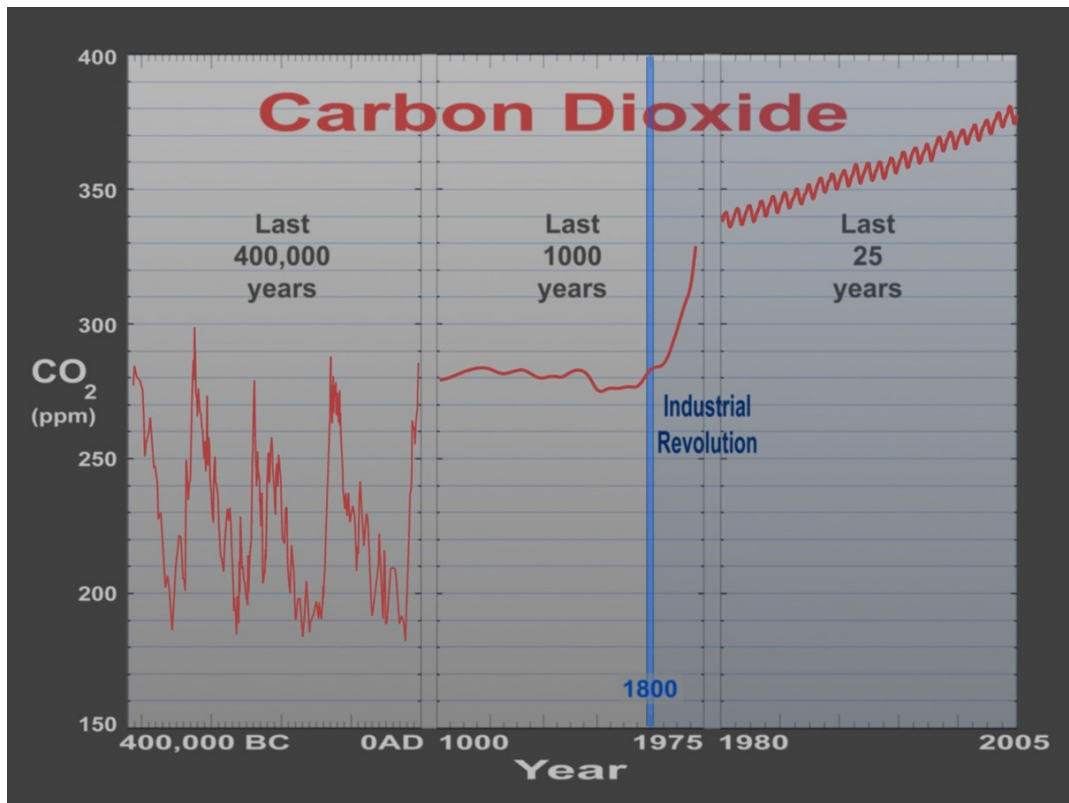


Figura 29 – Concentração atmosférica de dióxido de carbono, escala horizontal não proporcional.

Fonte: <https://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003300/a003307/index.html>

¹¹ - <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>

Decompondo os dados desta forma, não proporcional temporalmente no gráfico, mas agrupados, compreende-se que a revolução industrial – vapor e carvão – representa o primeiro salto depois de mil anos de estabilidade (ligeira diminuição na mini idade do gelo 1400-1800 ⁽¹²⁾), acelerando depois de 1950 (pós-guerra, generalização e expansão do consumo de petróleo), crescendo de uma forma contínua e regular nos últimos 25 anos (no gráfico) até hoje (mais 15 anos até 2021). Como se pode ver nos gráficos (Figura 30, abaixo), as concentrações têm crescido, tanto de dióxido de carbono, como de óxidos de azoto (queima de combustíveis fósseis), bem como de metano (desflorestação, pecuária, agricultura alagada, degelo do permafrost), sendo que os CFC's, que estavam em rápido crescimento, diminuíram por via da aplicação do protocolo de Montreal de 1987 ⁽¹³⁾, com vista à diminuição do buraco na camada do ozono e sua preservação ⁽¹⁴⁾.

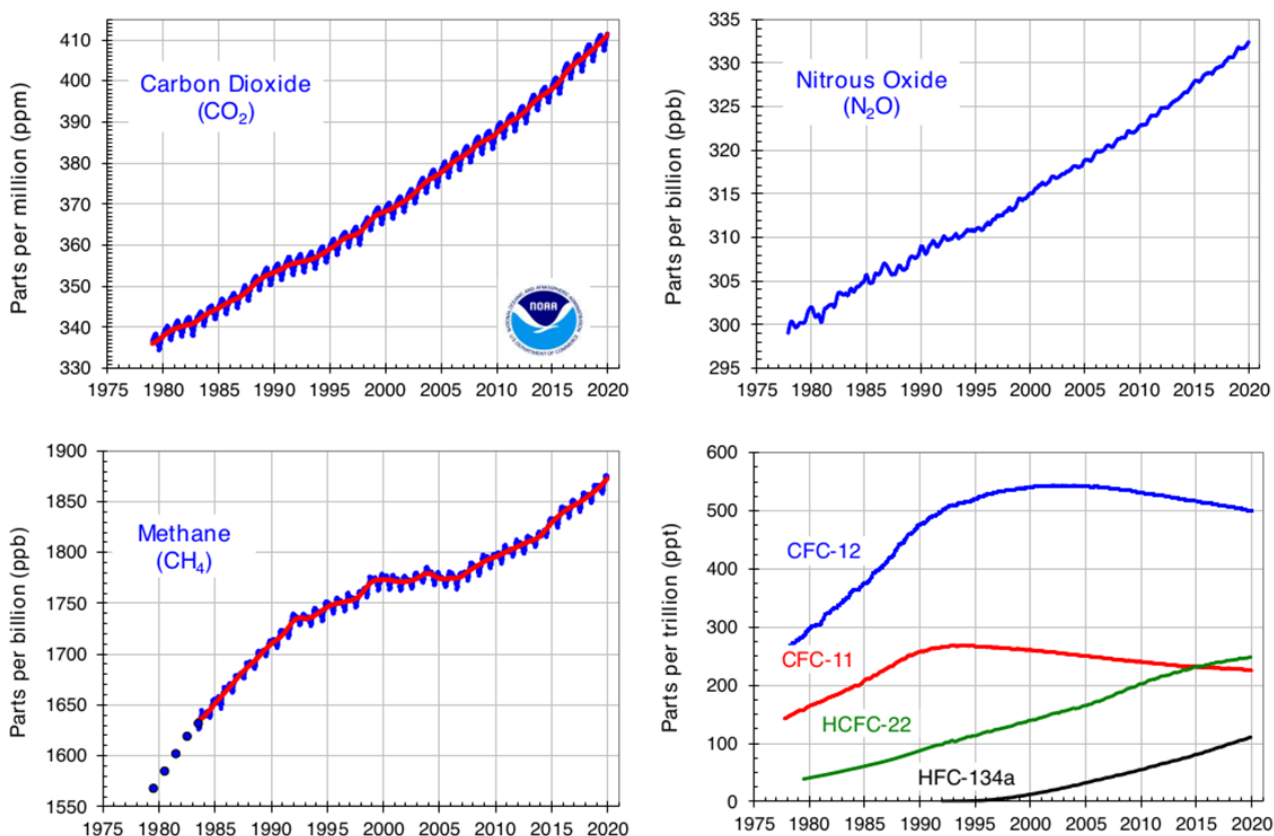


Figura 30 – Concentração global média de vários gases de efeito de estufa na atmosfera, 1975-2020.

Fonte: <https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.fig2.png>

Os dados mais recentes de CO₂ global podem ser vistos na Figura 31, abaixo, medidos na estação da NOAA do Havai - Mauna Loa ⁽¹⁵⁾, que se encontra no “meio” do Oceano Pacífico e afastada das massas continentais, fontes de emissão e influência de vegetação, além de estar em altitude (3397 m), acima da inversão térmica da parte mais baixa e poluída da atmosfera. No gráfico, a vermelho, os valores médios mensais e respectivo ciclo sazonal (como se pode ver e foi explicado no vídeo da Figura 6), a preto o valor médio corrigido do ciclo sazonal, com os riscos verticais a indicarem a variabilidade de cada mês. A subida é, claramente, constante e atinge valores de 420 ppm, o que representa quase 50% mais que os valores máximos durante o Quarternário mais recente, como se pode ver nos ice cores Vostok e EPICA, Figuras 25-27 (cerca de 280 ppm).

No gráfico à direita a série é mais longa, iniciando em 1960 e pode verificar-se que o ritmo de crescimento da concentração de dióxido de carbono tem aumentado. A título ilustrativo e como exemplo prático, para se perceber esse aumento, quando nasci (1966) a concentração de CO₂ era de, aproximadamente, 320 ppm, quando acabei o curso de Geografia e Planeamento Regional, na FCSH da UNL, em 1989 era de quase 330 ppm (+ 10, 3.13% de aumento em 23 anos), quando acabei o doutoramento, em 2004, estava perto de 350 ppm (+ 20, 6.06% de aumento em 15 anos), actualmente está perto de 420 ppm (+70, 20% de aumento em 17 anos).

¹² - https://en.wikipedia.org/wiki/Little_Ice_Age

¹³ - https://en.wikipedia.org/wiki/Montreal_Protocol

¹⁴ - https://en.wikipedia.org/wiki/Ozone_layer

¹⁵ - <https://gml.noaa.gov/obop/mlo/>

Mudando de escala temporal de análise, observando a Figura 32, abaixo, pode verificar-se como os valores oscilam em termos diários (respiração ou fotossíntese), estando actualmente na curva descendente do ciclo anual, dada a fenológica da vegetação, que neste momento e no hemisfério Norte caminha para o pico de absorção de dióxido de carbono. Portugal também recolhe este tipo de informação, o IPMA tem uma estação de medição de Gases de Efeito de Estufa (GEE) na Ilha Terceira, Açores, pelas mesmas razões que a NOAA tem a sua estação no Havai. A série tem interrupções, não tem os valores mais recentes disponíveis, mas os valores são compatíveis com os registados no Havai. A página do IPMA com esta informação está em: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/gases.estufa/index.jsp> e faz parte de uma rede global de recolha de dados (<https://gml.noaa.gov/dv/site/site.php?code=AZR>).

Monthly Average Mauna Loa CO₂

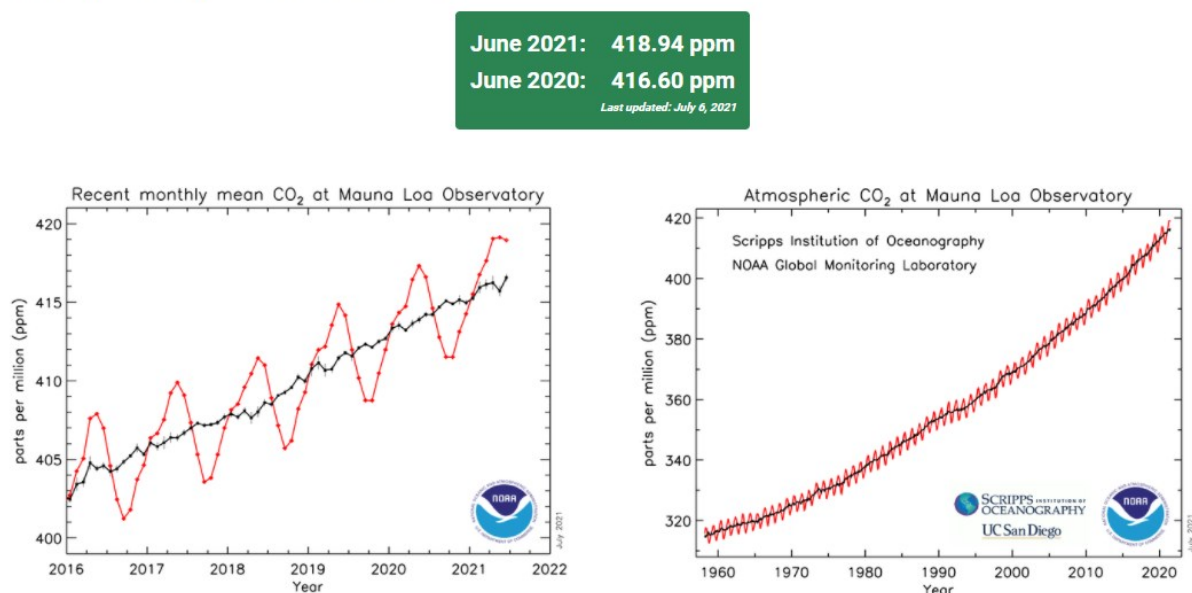


Figura 31 – Valores médios de concentração de CO₂, Mauna Loa – Havai, 2016-2021.

Fonte: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>

Recent Daily Average Mauna Loa CO₂

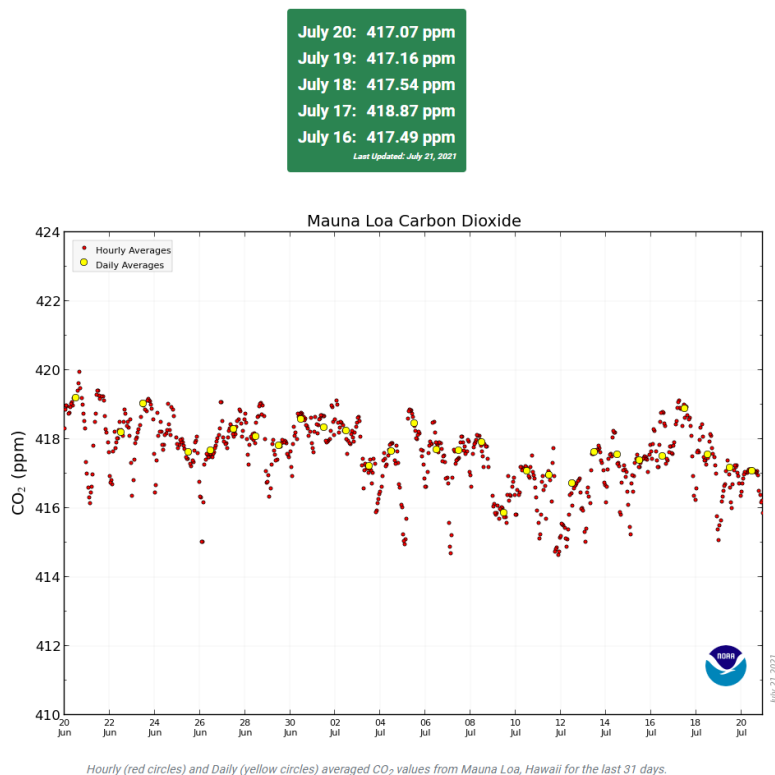


Figura 32 – Valores médios diários de concentração de CO₂, 20 de Junho a 20 de Julho de 2021, Mauna Loa.

Fonte: [Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases \(noaa.gov\)](https://globalmonitoringlaboratory-carboncyclegreenhousegases.noaa.gov/)

Uma outra forma, dinâmica, muito elucidativa, de representar a subida de valores de concentração de dióxido de carbono, medida no observatório do Mauna Loa, pode ser vista no vídeo abaixo (Figura 33). Por limitação do Microsoft Word não é possível “embeber” este tipo de objecto (MP4), que também não pode ser visto em PDF, apresenta-se, portanto, a figura e pode-se ver – descarregar a animação no sítio de origem

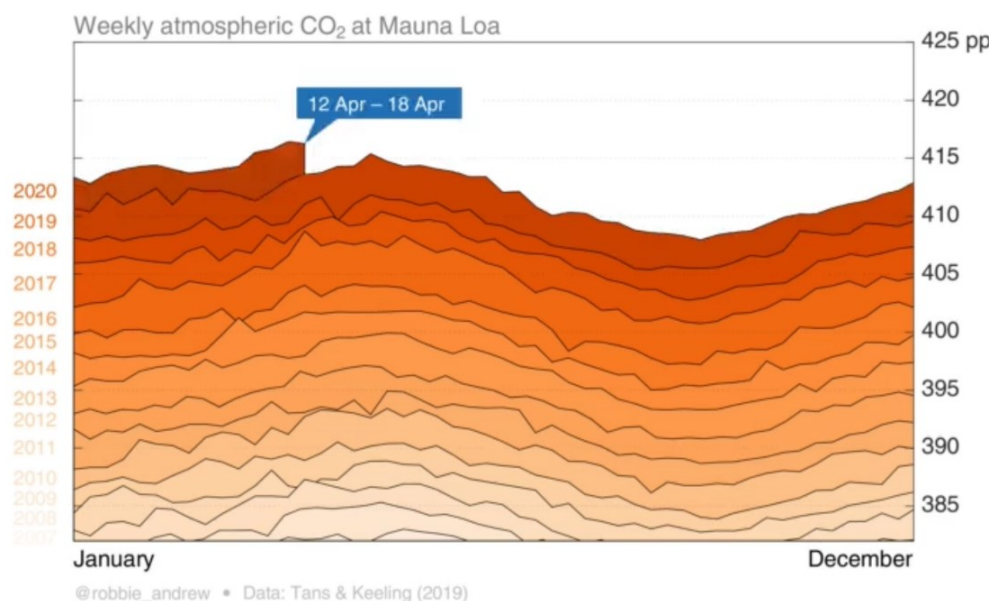


Figura 33 – Evolução mensal do CO₂, animação, 2007-2021, Mauna Loa.

Fonte: https://folk.universitetetioslo.no/roberan/t/i/MLO_weekly.mp4

Há uma questão, importante, que convém salientar: estes valores de referência são, contudo, em função da localização da estação, dos mais baixos do planeta, como se pode ver na Figura 34, abaixo, com dados do GAW – Global Atmosphere Watch Programme (<https://community.wmo.int/activity-areas/gaw>) de Março e Abril de 2014 (não foi possível produzir uma imagem com estes dados, para estas estações, mais actualizados). Efectivamente, tirando a Samoa, Ilha Amsterdão e o Pólo Sul, todos os valores são superiores aos do Havai, quanto mais próximos de áreas de intensa actividade e concentração humana, mais altos, assim, estes valores “puros” estarão certamente abaixo do cenário global mais antrópico.

Preliminary CO₂ mole fractions at the GAW global stations (March 2014; April 2014)

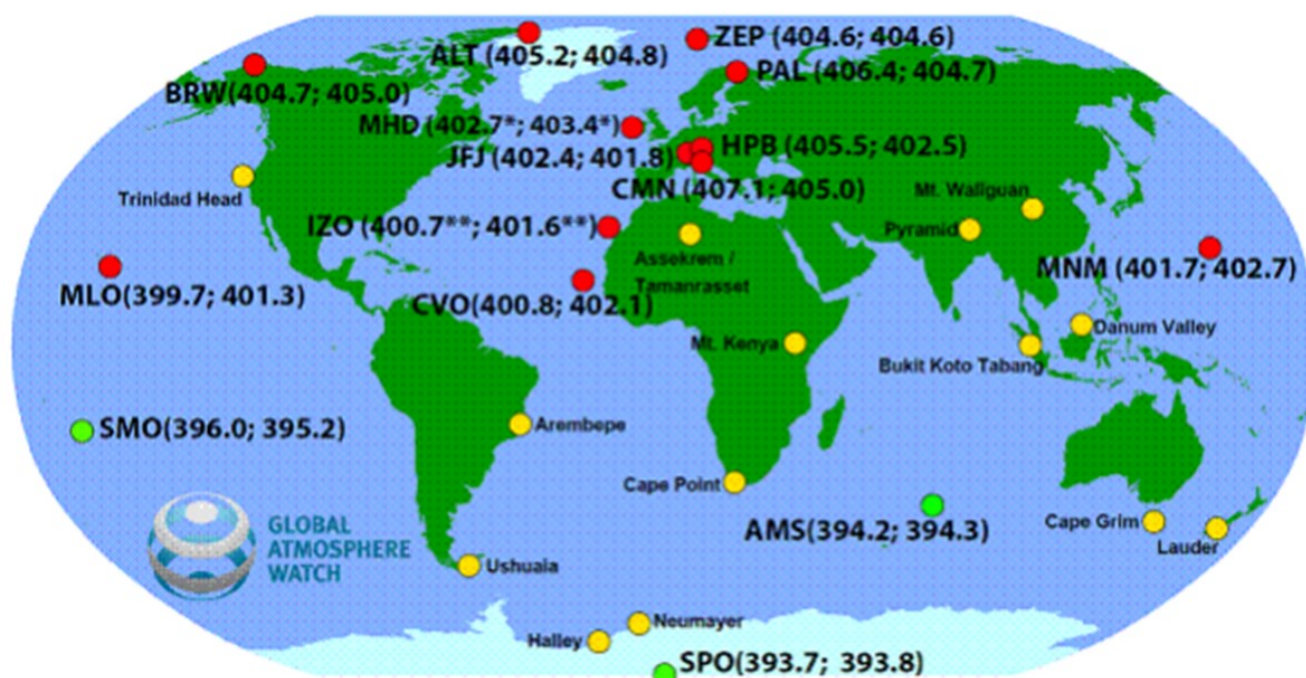


Figura 34 – CO₂ em estações da GAW, Março Abril de 2014.

Fonte: https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/global_stations_data.html (arquivado)

Dados da rede GAW em: <https://community.wmo.int/activity-areas/gaw>

Com estes factos: o aumento crescente da concentração de dióxido de carbono (além de outros gases de efeito de estufa), a concordância e alinhamento dos valores medidos em todo o mundo e a tendência crescente, i.e., em aceleração, deste aumento; naturalmente que o clima global está a aquecer, pois cada vez uma maior quantidade de calor irradiado e reflectido é retida na atmosfera, pelo acentuar do efeito de estufa. Isto é um facto, há um amplo consenso científico acerca deste facto (voltaremos a este ponto à frente), quatro das mais importantes instituições que estudam, medem e têm registos climáticos, confirmam que (Figura 35, abaixo):

A temperatura global está a aumentar rapidamente nas últimas décadas, 2016 e 2020 são os anos mais quentes (empatados) desde 1880, os 10 anos mais quentes do registo de 141 anos ocorreram desde 2005, os mais quentes foram os últimos sete (ver página, dados e instituições, bem como referências, em <https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/>).

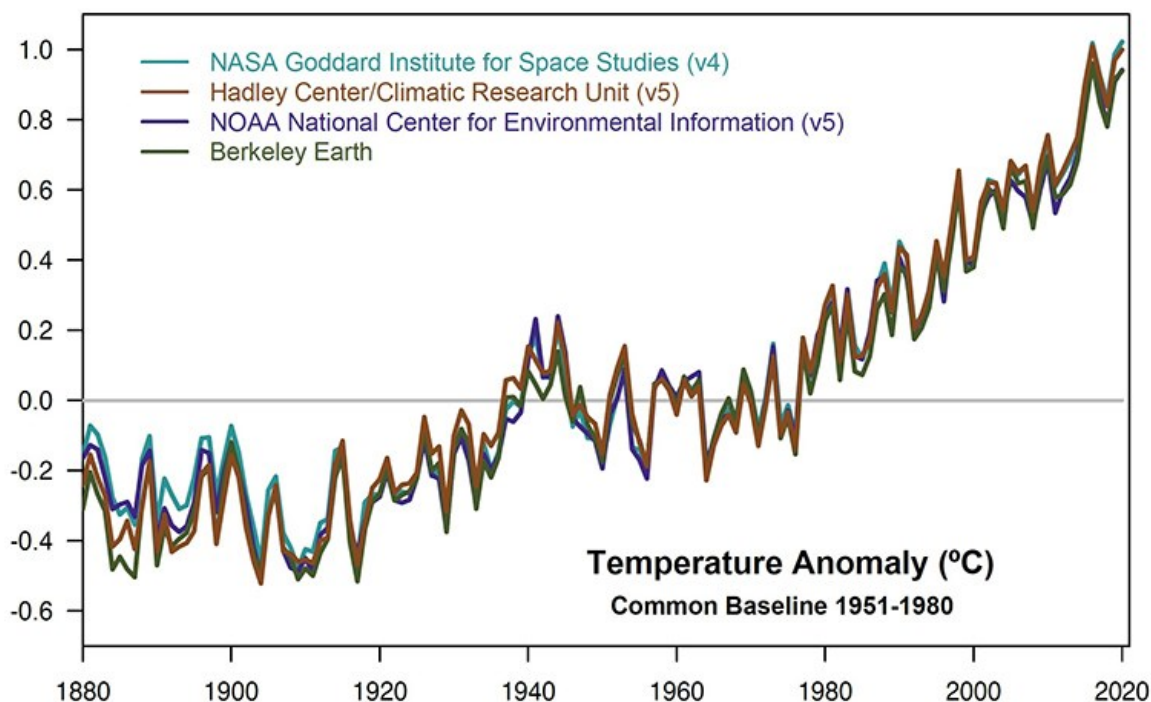


Figura 35 – Consenso científico: o clima da Terra está a aquecer, anomalia térmica global 1880-2020.

Fonte: https://climate.nasa.gov/system/content_pages/main_images/1309_temp-2020_comparison-plot-768px.jpg

Outro facto, incontestável, é que a origem deste aumento de dióxido de carbono na atmosfera se deve às actividades humanas, nomeadamente (não exclusivamente como veremos) devido à queima de combustíveis fósseis (como estudado, explicado e medido há muito). Dada a amplitude do aumento e a natureza fechada do sistema (planeta Terra), não há outra possibilidade ou origem "alternativa" destas emissões. Os combustíveis fósseis são, simplificando: carbono consumido por seres vivos há muito tempo, que criaram biomassa, depois de mortos se acumularam, sequestrando esse carbono, que quando hoje é queimado o liberta novamente.

Numa versão simplificada do ciclo de carbono (Figura 36, abaixo), pode-se ver como os ciclos naturais, relativamente em equilíbrio (ver tabela na Figura 22) são perturbados pela libertação de CO₂, queima de combustíveis fósseis e mudanças de uso do solo, fora do ciclo natural. Embora sejam "somente" cerca de 29 giga toneladas, num total de 750 giga toneladas que circulam no total do ciclo, somente cerca de 40% deste adicional é absorvido – pela vegetação, solo e oceanos – ficando o restante na atmosfera e acumulando-se continuamente.

Observando e analisando uma representação, esquemática, simplificada do ciclo de carbono, podem identificar-se melhor as fontes, sumidouros e fluxos de carbono (Figura 37, abaixo). A unidade de reservas é PgC (1 PgC corresponde a 10¹⁵ gC), a dos fluxos PgC ano⁻¹, as setas e números a preto indicam valores de reserva e fluxo estimados antes da era industrial (circa 1750), as setas e números a vermelho indicam valores antropogénicos anuais (média 2000-2009), os números a vermelho nas reservas, representam mudanças entre 1750 e 2011.

The Global Carbon Cycle

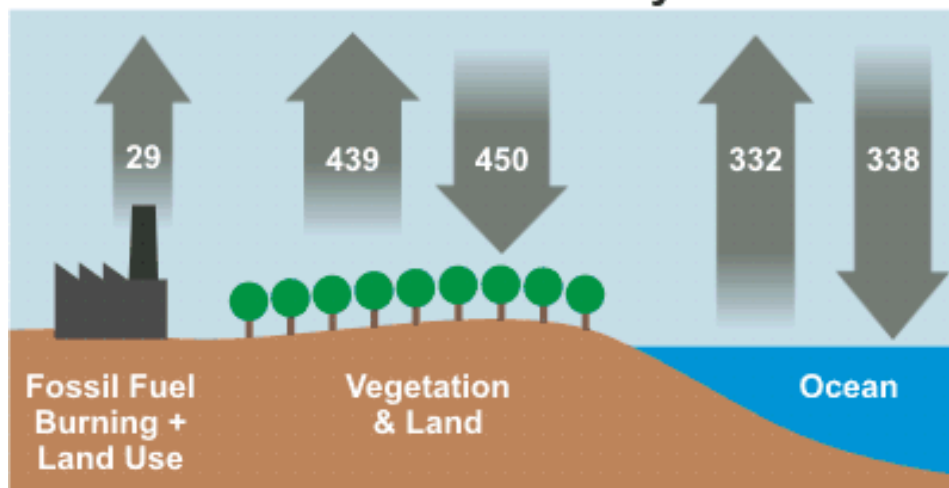


Figura 36 – Ciclo anual global do carbono, simplificado.

Fonte: <https://skepticalscience.com/> com base em <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>

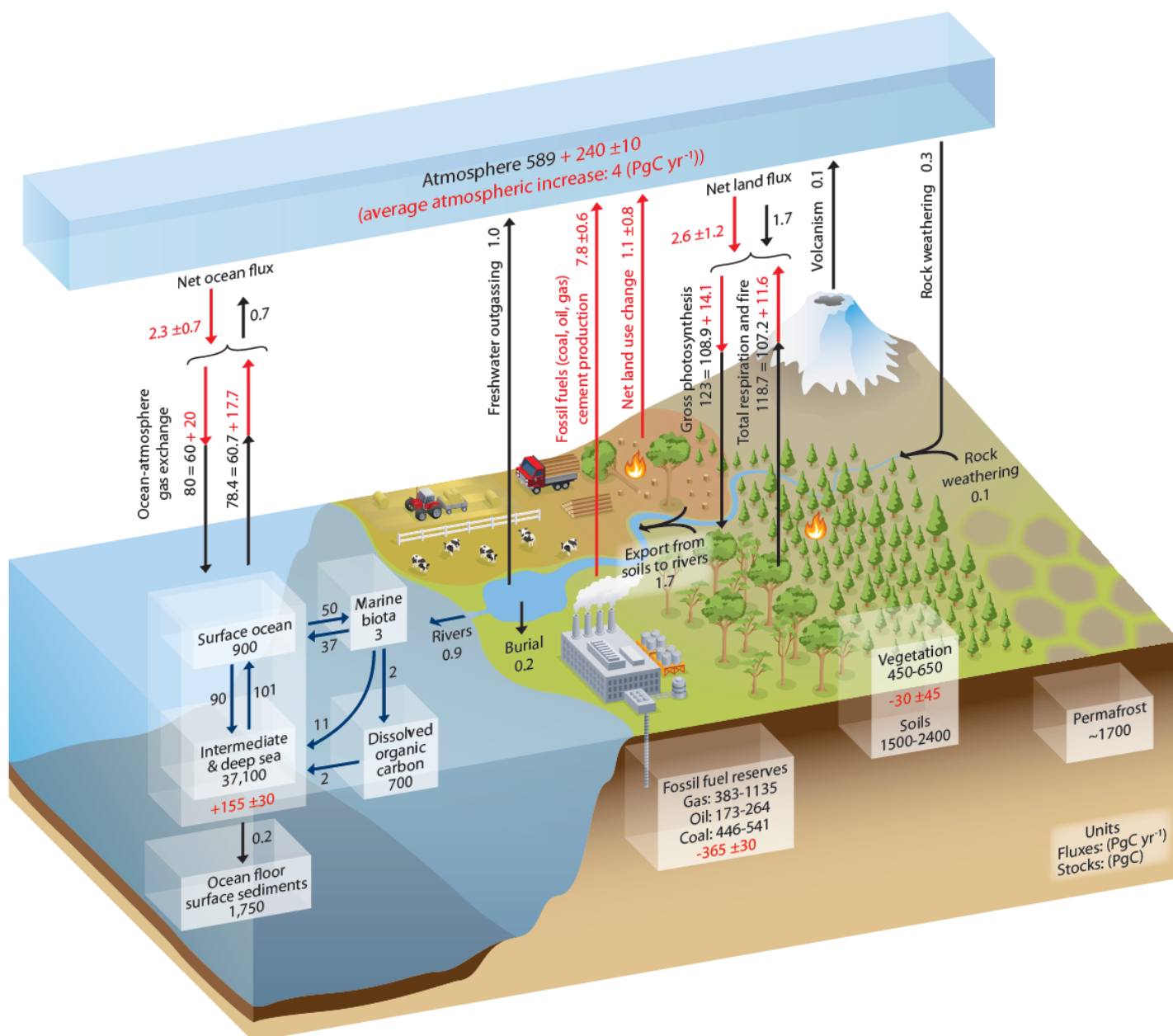
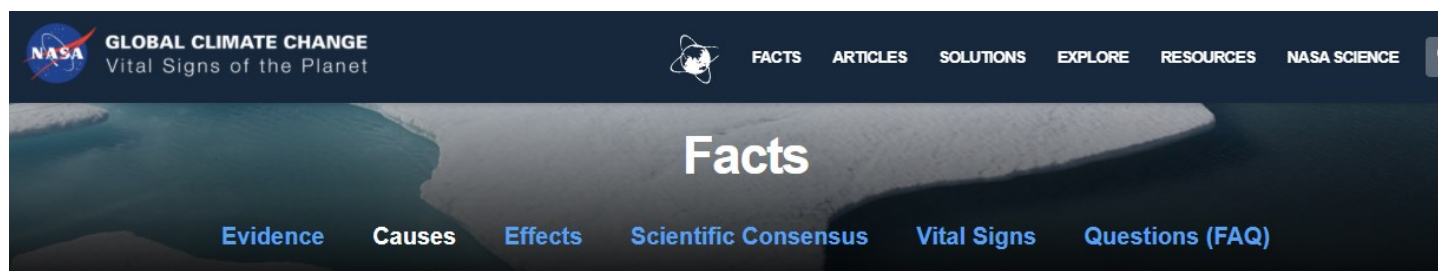


Figura 37 – Representação, esquemática, simplificada do ciclo de carbono.

Fonte: Figura 6.1 IPCC <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>

Aconselho vivamente o sítio da NASA – Global Climate Change (<https://climate.nasa.gov/> Figura 38, abaixo), que merece uma longa e apurada exploração, pois tem muita informação, de muito boa qualidade (a todos os níveis), bem organizada e hierarquizada (factos, causas, efeitos, consenso, sinais vitais, FAQ), muito material multimédia, soluções apontadas, recursos, dados em tempo real, etc. Imperdível e obrigatório.



The Causes of Climate Change



A simplified animation of the greenhouse effect. Credit: NASA/JPL-Caltech (Download [en español](#).)

[en español](#)

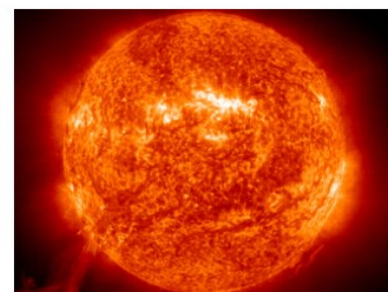
Scientists attribute the global warming trend observed since the mid-20th century to the human expansion of the "greenhouse effect"¹ — warming that results when the atmosphere traps heat radiating from Earth toward space.

Certain gases in the atmosphere block heat from escaping. Long-lived gases that remain semi-permanently in the atmosphere and do not respond physically or chemically to changes in temperature are described as "forcing" climate change. Gases, such as water vapor, which respond physically or chemically to changes in temperature are seen as "feedbacks."

We Live in a Greenhouse

Life on Earth depends on energy coming from the Sun. About half the light reaching Earth's atmosphere passes through the air and clouds to the surface, where it is absorbed and then radiated upward in the form of infrared heat. About 90 percent of this heat is then absorbed by the greenhouse gases and radiated back toward the surface.

Is the Sun to Blame?



Credit: SOHO - EIT Consortium, ESA, NASA

Figura 38 – “Global Climate Change – Vital Signs of the Planet “. Fonte: <https://climate.nasa.gov/>

Indicadores

Até aqui abordaram-se factos e dados, relativos à constituição da atmosfera, sua dinâmica e evolução recente, bem como a inequívoca origem – antrópica – da modificação da constituição dessa atmosfera, que acentuando o efeito de estufa natural, levou a um aquecimento global do clima no planeta, acerca do qual há total (97%, mais à frente desmontamos os 3% restante) de consenso científico. Ora, assim sendo, quais deveriam ser os indicadores, nas várias componentes do sistema climático, que estariam a mudar e em que direcção, no contexto de um mundo mais quente e que validariam os factos supracitados? (Figura 39, abaixo)

1. Temperaturas do ar a subir, na base da troposfera;
2. Mais vapor de água na atmosfera (em virtude do aumento de temperatura);
3. Aumento da temperatura sobre a terra;
4. Diminuição do volume dos glaciares;
5. Diminuição da cobertura de neve;
6. Diminuição da área de gelo marinho;
7. Aumento da temperatura do ar marinho;
8. Aumento da temperatura do mar;
9. Aumento do teor de calor no oceano;
10. Subida do nível do mar (em virtude do degelo e expansão por aumento da sua temperatura).

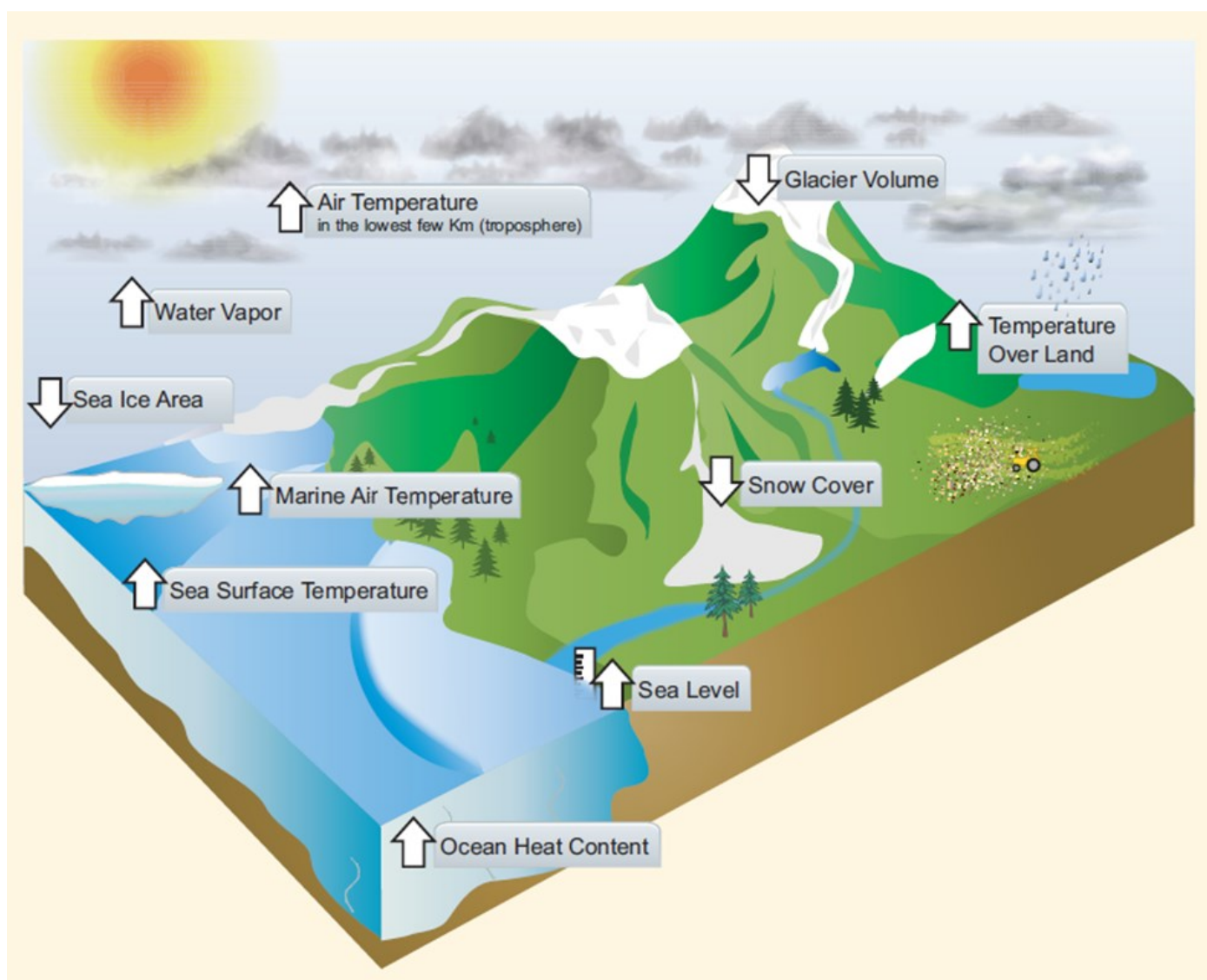


Figura 39 – Componentes do sistema climático, que se esperaria estarem a mudar, num mundo mais quente.

Fonte: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

No poster sumário (Figura 40, abaixo), relativo à mais importante publicação sobre as alterações climáticas, Climate Change 2013: The Physical Science Basis do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas: [IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change](https://www.ipcc.ch/)), com mais de 1500 páginas e centenas de páginas de anexos), disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>, actualizado em 2021, estão sintetizados os indicadores e factos:

1. O aquecimento do sistema climático é inequívoco, desde 1850 cada uma das três últimas décadas é sucessivamente mais quente do as anteriores;
2. Os mantos de gelo da Gronelândia e Antártida têm perdido massa, os glaciares estão a recuar em todo o planeta, o gelo ártico e cobertura de neve na Primavera, no hemisfério Norte têm continuado a decrescer em extensão;
3. A taxa de subida do nível do mar, desde meados do Século XIX, tem sido maior que a taxa média nos dois milénios anteriores, entre 1901 e 2010 o nível global do mar subiu 19 cm (entre 17-21 cm);
4. As concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxidos de azoto aumentaram para níveis sem precedentes nos últimos 800 mil anos. As concentrações de dióxido de carbono aumentaram 40% desde tempos pré-industriais, em primeiro lugar como consequência da queima de combustíveis fósseis e em segundo lugar de emissões ligadas a mudanças de uso do solo;
5. O maior contributo para o aumento radiactivo forçado (*radiative forcing*) é causado pelo aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico desde 1750;
6. O aquecimento dos oceanos domina o aumento de energia armazenada no sistema climático, correspondendo a mais de 90% da energia acumulada entre 1971 e 2010;
7. A influência humana no sistema climático é clara, o que é evidente pelo aumento das concentrações de gases de efeito de estufa, aumento radiactivo forçado, aquecimento observado e compreensão do sistema climático;
8. A emissão continuada de gases de efeito de estufa vai causar mais aquecimento e mudanças em todos os componentes do sistema climático;
9. Limitar as alterações climáticas implicará reduções substanciais e sustentadas da emissão de gases de efeito de estufa.

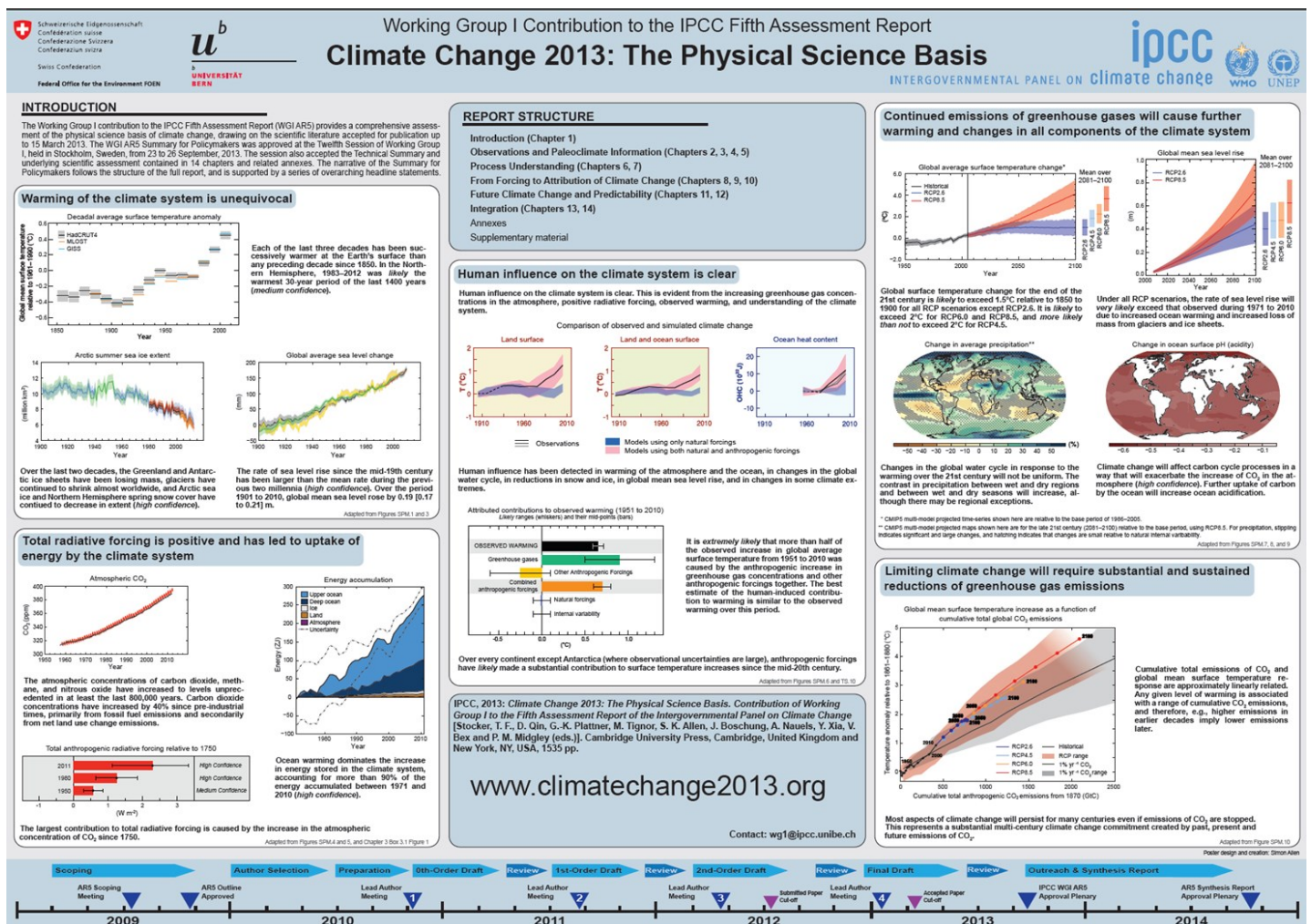


Figura 40 – IPCC poster sumário “Climate Change 2013: The Physical Science Basis”.

Fonte: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1_AR5_2013_Poster.pdf

No dia 9 de Agosto de 2021 foi lançado o "AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis", o documento tem 4000 páginas, não é a versão definitiva, pois ainda está aberto a edição, mas o SPM (*summary for policymakers*) é a versão final, podem ser consultados em <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. As conclusões são arrasadoras:

1. "É inequívoco que a influência humana aqueceu a atmosfera, oceano e terra. Ocorreram mudanças rápidas e generalizadas na atmosfera, oceano, criosfera e biosfera";
2. "A escala das mudanças recentes em todo o sistema climático, como um todo e o estado actual de muitos aspectos do sistema climático não têm precedentes, ao longo de muitos séculos a muitos milhares de anos";
3. "A mudança climática induzida pelo homem já está a causar muitos extremos climáticos e meteorológicos, em todas as regiões do globo. A evidência de mudanças observadas em fenómenos extremos, como ondas de calor, fortes precipitações, secas e ciclones tropicais e em particular a sua atribuição à influência humana, tem-se fortalecido desde o AR5";
4. "O melhor conhecimento dos processos climáticos, evidências paleoclimáticas e a resposta do sistema climático para aumentar o "forçamento" radiativo dá uma melhor estimativa do equilíbrio da sensibilidade climática de 3 ° C, com uma faixa mais estreita em comparação com AR5".

Quanto aos possíveis cenários climáticos futuros:

1. "A temperatura global da superfície continuará a aumentar até pelo menos meados do século, em todos os cenários de emissões considerados. O aquecimento global de 1,5 ° C e 2 ° C será excedido durante o século XXI, a menos que ocorram profundas reduções de CO₂ e outras emissões de gases de efeito de estufa nas próximas décadas";
2. "Muitas mudanças no sistema climático tornam-se maiores, em relação directa com o aumento global do aquecimento. Elas incluem aumentos na frequência e intensidade de fenómenos extremos de calor, ondas de calor marinhas e fortes precipitações, secas agrícolas e ecológicas nalgumas regiões e proporção de ciclones tropicais intensos, bem como reduções no gelo do Ártico, cobertura de neve e permafrost";
3. "Está projectado que o aquecimento global contínuo vai intensificar ainda mais o ciclo global da água, incluindo a sua variabilidade, precipitação global das monções e a severidade de eventos de chuva e secas";
4. "Em cenários com aumento das emissões de CO₂, está projectado que os sumidouros de carbono do oceano e da terra serão menos eficazes na redução da acumulação de CO₂ na atmosfera";
5. "Muita mudança devido às emissões de gases de efeito estufa, passadas e futuras, são irreversíveis para séculos a milénios, especialmente mudanças no oceano, calotes de gelo e nível global do mar".

Vale a pena, para rematar esta introdução aos últimos dados e projecções do AR6 acabado de sair, olhar para as consequências potenciais futuras deste aumento do aquecimento global, como se pode ver na Figura 41, abaixo, o aumento médio global terá impactos projectados muito díspares em termos geográficos. Já se observa um aumento de 1 ° C globalmente, mas num cenário de vários aumentos, 1.5 ° C, 2 ° C e 4 ° C, o aquecimento será significativamente maior nas altas latitudes e nos continentes, com valores localmente acima de 7 ° C.

Passa-se o mesmo com a mudança dos quantitativos e padrões espaciais de precipitação (Figura 41, abaixo, c)), há áreas com aumentos significativos (30-40% mais húmidas), como as altas latitudes e faixa intertropical, mas outras com diminuições muito importantes, onde se destacam, claramente, o Mediterrâneo e outras regiões com clima semelhante (Chile, Califórnia, costa Oeste da África do Sul e Austrália). Consequentemente, também a humidade de solo deverá ser afectada, proporcionalmente, tanto pelos padrões de maior ou menor precipitação, como pelo próprio aumento da temperatura, que vai controlar a evapotranspiração potencial (Figura 41, abaixo, d)).

Um dos aspectos mais relevantes, relativamente às consequências das alterações climáticas, é que se espera – já se verifica – um aumento e intensidade dos valores e eventos extremos, seja calor – frio ou seca – chuva e um aumento da incerteza e variabilidade destes fenómenos. Como se pode ver na Figura 42, abaixo, as mudanças projectadas nos extremos, tornam-se maiores em frequência e intensidade com cada incremento de aquecimento global. Observando a imagem, para três tipos de eventos, temperatura extrema, precipitação intensa em terra e seca agrícola e ecológica em regiões crescentemente mais secas, percebem-se vários aspectos essenciais:

1. Para cada evento, a primeira coluna representa a situação média entre 1850 e 1900, sendo o ponto de partida zero, graus no caso das temperaturas, por cento no caso da precipitação ou desvios padrão no caso das secas. Cada evento ocorreu uma única vez;
2. A segunda coluna representa a situação actual, com um aumento verificado de 1 ° C globalmente, pode-se verificar que os extremos de calor com um período de retorno de 10 anos são agora 2.8 vezes mais prováveis (os valores entre parenteses são os extremos apurados), a barra em baixo representa quanto mais

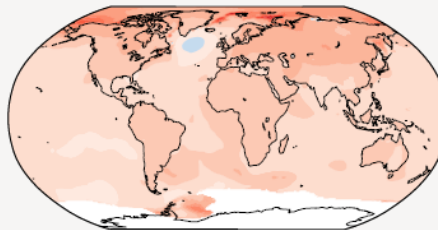
quentes estes eventos são, no mesmo caso, 1.2 ° C mais quentes (os “bigodes” na barra dão os valores extremos);

3. Continuando nos eventos extremos de calor, 10 anos de período de retorno, o que se pode ver nas barras seguintes (3ª, 4ª e 5ª) é como um aumento de 1.5 ° C, 2 ° C e 4 ° C, projectado para o futuro, aumenta dramaticamente a probabilidade de ocorrência e, sobretudo, a intensidade desses eventos;
4. Observando eventos extremos de temperatura em terra, agora para um período de retorno de 50 anos, os aumentos projectados, de frequência e intensidade, são ainda mais impressionantes;
5. Passando para a precipitação, cujos eventos extremos são, hoje, 1.3 mais prováveis e 6.7% mais húmidos, nota-se como o aumento da probabilidade duplica, até ao cenário “pior” (i.e., mais 4° C), mas a intensidade mais do que quadruplica (6.7 para 30.2% mais húmido);
6. Por último, no caso das secas, que actualmente já são 1.7 vezes mais prováveis e com uma intensidade de 0.3 desvios padrão mais secas (abaixo da média),
7. Há também mudanças projectadas significativas, com consequências dramáticas, tendo em conta questões de colapso da segurança alimentar, a nível regional, nacional ou global.

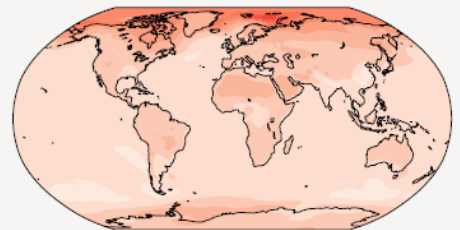
a) Annual mean temperature change (°C) at 1 °C global warming

Warming at 1 °C affects all continents and is generally larger over land than over the oceans in both observations and models. Across most regions, observed and simulated patterns are consistent.

Observed change per 1 °C global warming



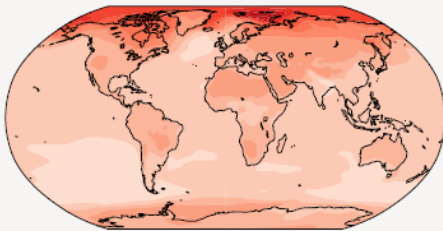
Simulated change at 1 °C global warming



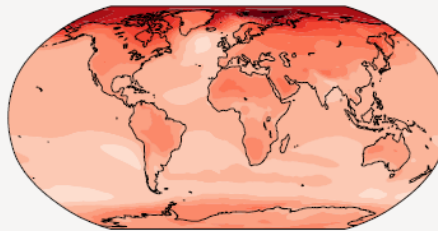
b) Annual mean temperature change (°C) relative to 1850-1900

Across warming levels, land areas warm more than oceans, and the Arctic and Antarctica warm more than the tropics.

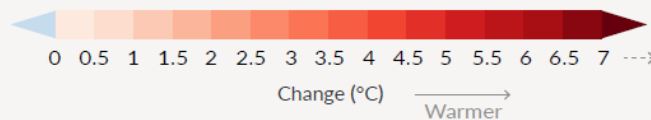
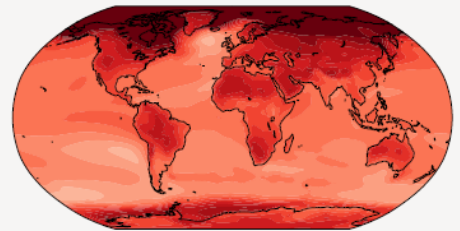
Simulated change at 1.5 °C global warming



Simulated change at 2 °C global warming



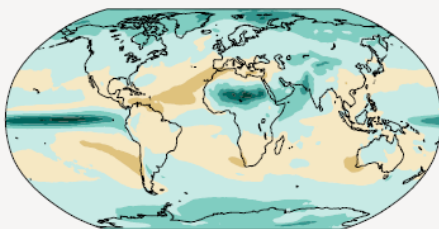
Simulated change at 4 °C global warming



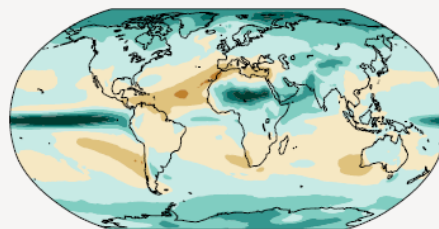
c) Annual mean precipitation change (%) relative to 1850-1900

Precipitation is projected to increase over high latitudes, the equatorial Pacific and parts of the monsoon regions, but decrease over parts of the subtropics and in limited areas of the tropics.

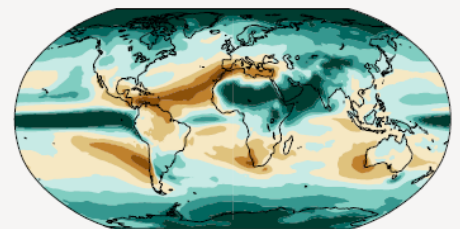
Simulated change at 1.5 °C global warming



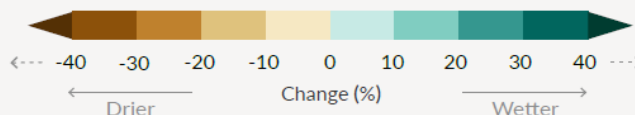
Simulated change at 2 °C global warming



Simulated change at 4 °C global warming



Relatively small absolute changes may appear as large % changes in regions with dry baseline conditions



d) Annual mean total column soil moisture change (standard deviation)

Across warming levels, changes in soil moisture largely follow changes in precipitation but also show some differences due to the influence of evapotranspiration.

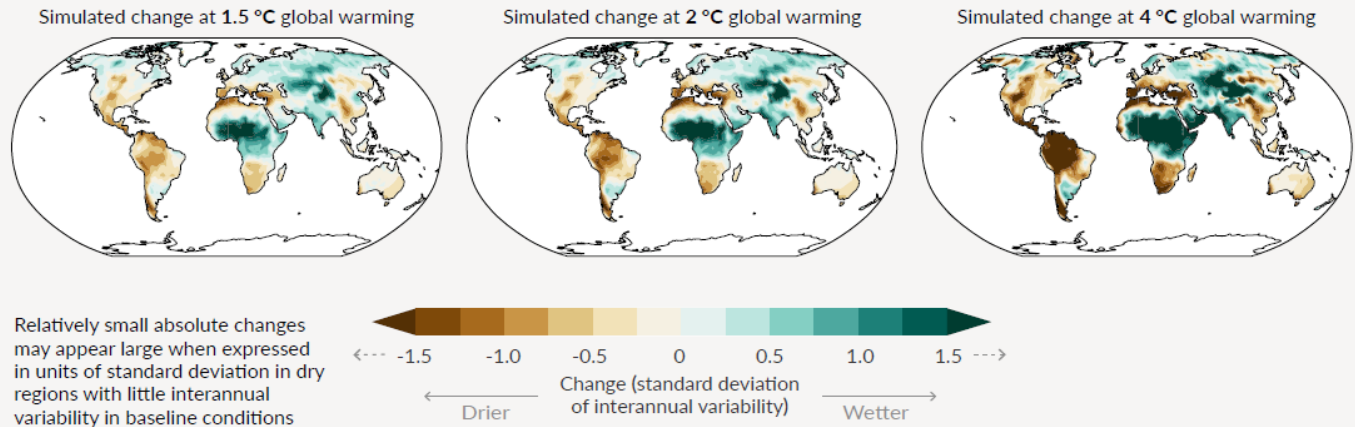


Figura 41 – Mudanças na temperatura média à superfície, observada (a), projectada (b), precipitação (c) e humidade do solo (d).

Fonte: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

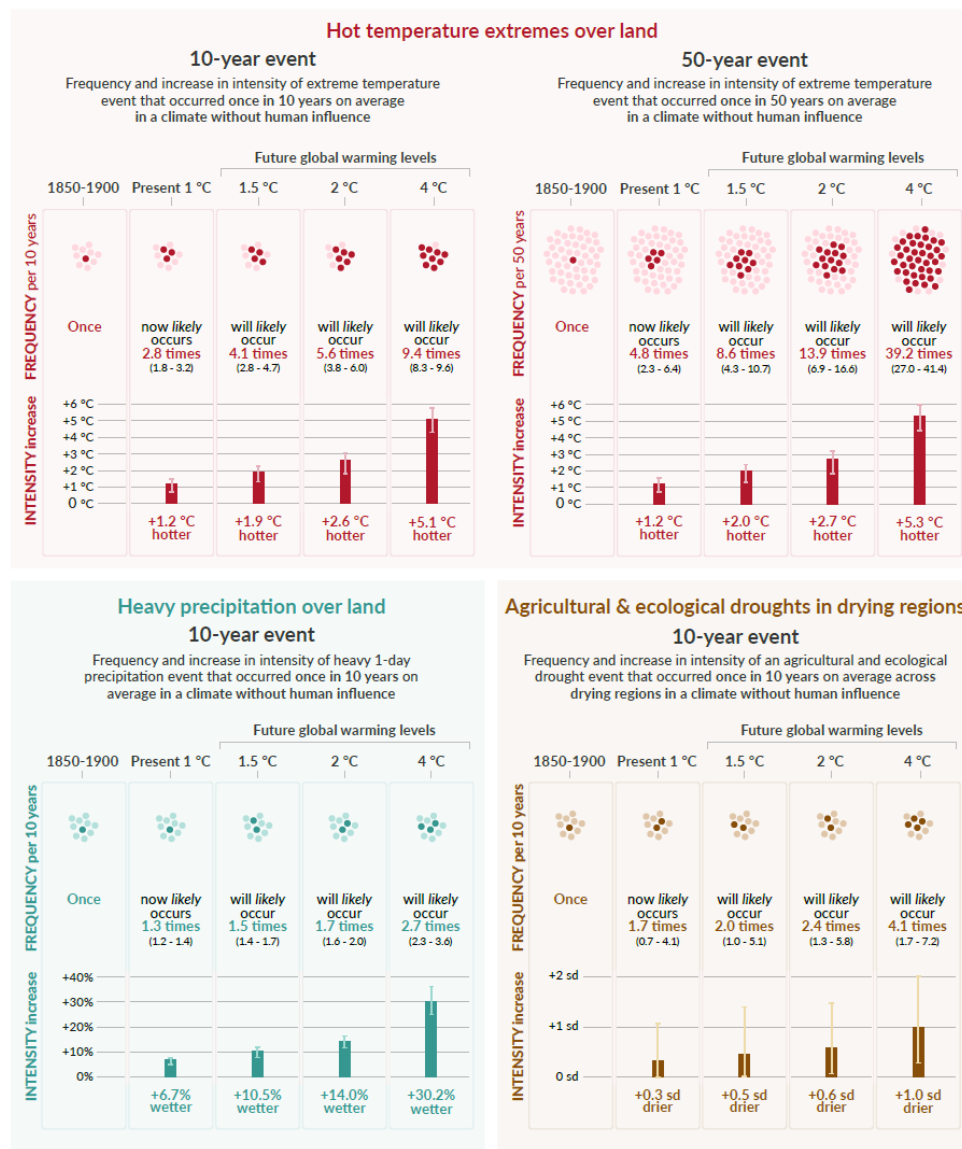


Figura 42 – Mudanças projectadas de intensidade e frequência para três tipos de eventos, temperatura extrema, precipitação intensa em terra e seca agrícola e ecológica em regiões crescentemente mais secas.

Fonte: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

Analisando vários indicadores de impacto climático (Figura 43, abaixo), “Climate Impact Drivers (CID)”, condições físicas do sistema climático (médias, eventos, extremos) pode-se ver que, com um grau elevado de confiança, haverá muitas regiões, em terra, costeiras ou oceânicas, (quantificadas na barra vertical) a registar aumento, ou diminuição, destes indicadores. Chamo a atenção para os indicadores, mais desagregados, e agrupados em grupos de fácil percepção.

Number of land & coastal regions (a) and open-ocean regions (b) where each climatic impact-driver (CID) is projected to increase or decrease with high confidence (dark shade) or medium confidence (light shade)

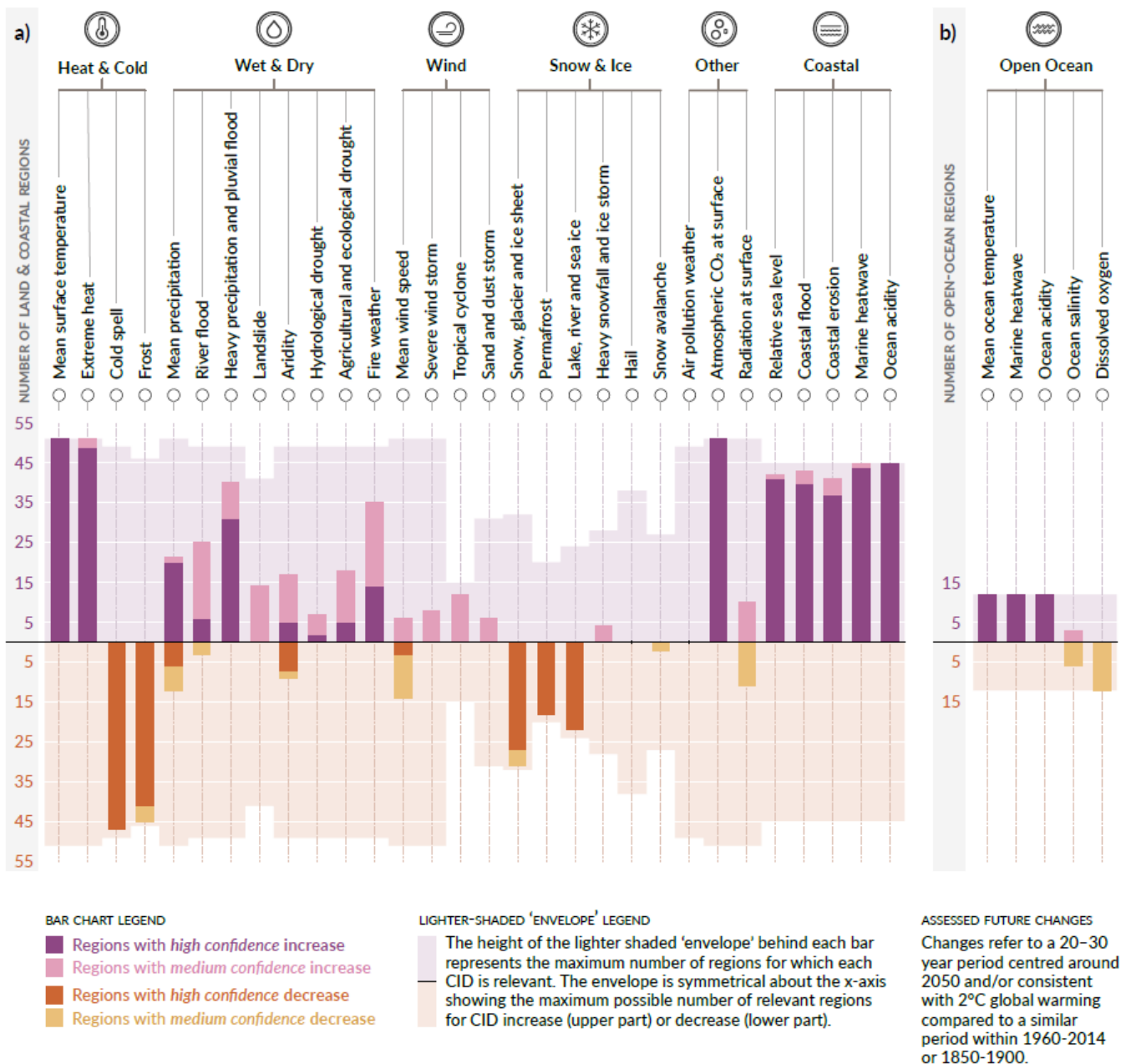


Figura 43 – Projecção de mudança de Indicadores de impacto climático.

Fonte: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

Por último, uma síntese (Figura 44, abaixo) que ilustra como as alterações climáticas já estão, actualmente, a afectar as regiões habitadas do planeta e a influência humana a contribuir para muitas mudanças nos extremos climáticos e meteorológicos. No topo (a) estão as mudanças observadas em eventos de calor extremos, por regiões, predominando largamente os aumentos (a vermelho), os números de pontos pretos em cada hexágono indicam o grau de confiança do contributo humano para estas mudanças observadas.

No meio (b), as mudanças observadas de precipitação, há um padrão de aumento nas faixas intertropicais e altas latitudes, para o Mediterrâneo há pouca concordância quanto ao tipo de mudança, mas faltam muitos dados e o grau de confiança quanto à contribuição humana é menor. Por último, em baixo (c), as mudanças em termos de seca agrícola e ecológica, com aumentos importantes bastantes áreas.

Tanto os indicadores de impacto climático como esta síntese regional podem (devem) ser explorados no Atlas Interactivo do IPCC, uma óptima ferramenta de análise espacial e temporal, das alterações climáticas observadas e projectadas, disponível em <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>.

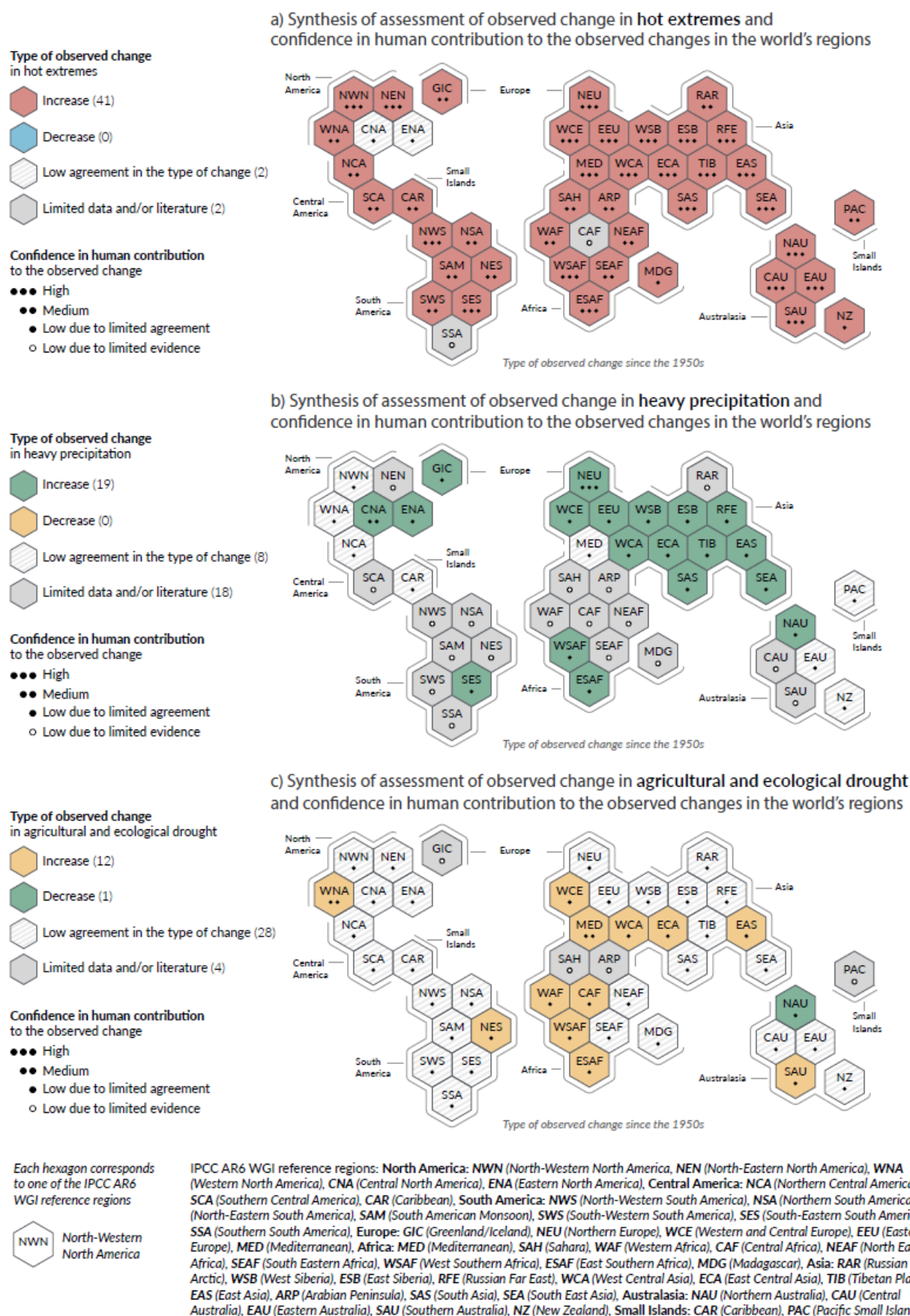


Figura 44 – As alterações climáticas já estão, actualmente, a afectar as regiões habitadas do planeta e a influência humana a contribuir para muitas mudanças nos extremos climáticos e meteorológicos.

Fonte: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

Como a construção deste documento se apoia, basicamente, no trajecto e materiais utilizados numa conferência e, depois, numa acção de formação para professores de Geografia, tendo origem numa apresentação em *Powerpoint*, mas sem ter o objectivo de constituir um guião de exploração de materiais, o passo seguinte é apresentar informação relativa aos vários indicadores. Passamos a apresentar imagens e materiais gráficos, apelativos e de interesse, começando pela temperatura. Em Maio de 2018, o cientista Ed Hawkins, da Universidade de Reading, Inglaterra, publicou séries cronológicas coloridas, com dados de temperatura global de 1850 (esquerda) a 2018 (direita), com uma gradação de tons para mais quente (vermelhos) / mais frio (azuis) em relação à média da série, para ilustrar o aquecimento global (Figura 45, abaixo).

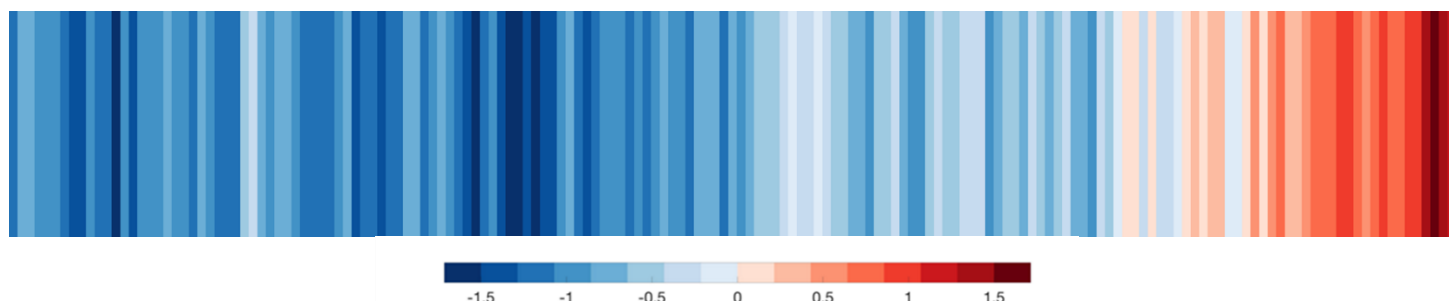


Figura 45 – “Warming stripes” do Professor Ed Hawkins, 1850 – 2018.

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Warming_stripes

Este gráfico, que se tornou emblemático do aquecimento global, do seu estudo, urgência, aparece constantemente em diferentes contextos, tem variações por continente e por país, sendo até usado como *pin* por políticos, cientistas e activistas. Podem ver-se abaixo (Figura 46), os dados originais utilizados, um exemplo por países e continentes, bem como um sítio ([#ShowYourStripes](https://showyourstripes.info/) <https://showyourstripes.info/>) onde se pode construir, e descarregar, o gráfico por países, dados de 1850 a 2020 (só tiras, gráfico de barras, exemplos para Portugal na Figura 47, abaixo, ou com etiqueta dos anos).

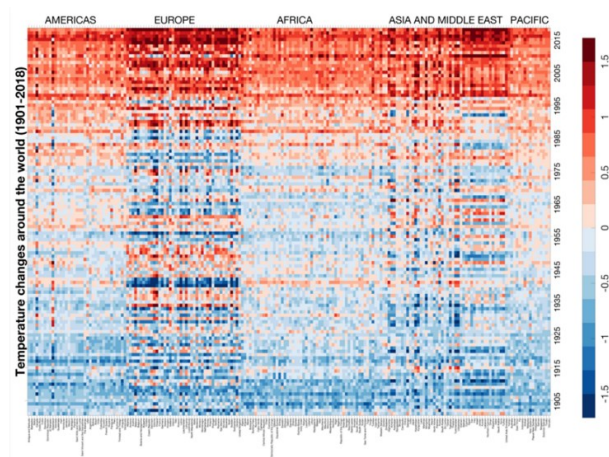
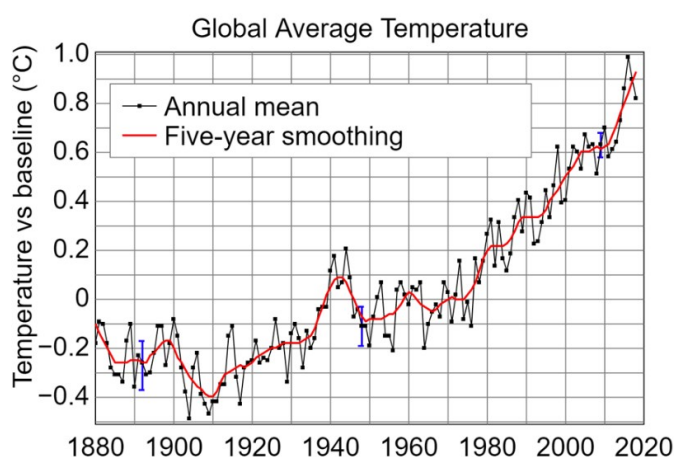


Figura 46 – Dados globais de temperatura, utilizados para construir as “riscas”, versão por países.

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Warming_stripes#/media/

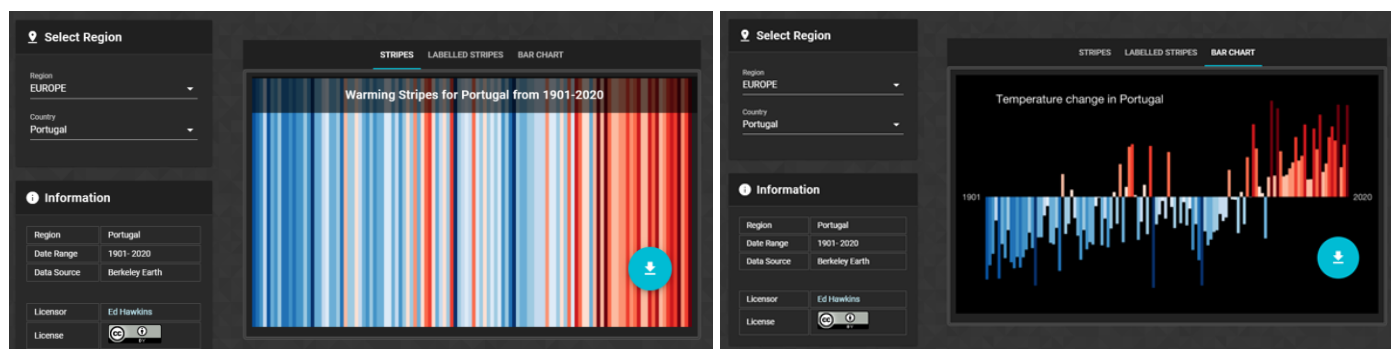


Figura 47 – Sítio “#ShowYourStripes”.

Fonte: <https://showyourstripes.info/>

Seguem-se vários exemplos de infografia, relativa a temperaturas, um dos indicadores, onde se podem ver claramente os padrões e tendência de aumento dos valores globais, representados de várias formas, bem como as fontes, onde podem ser obtidas – geralmente – com resolução maior.

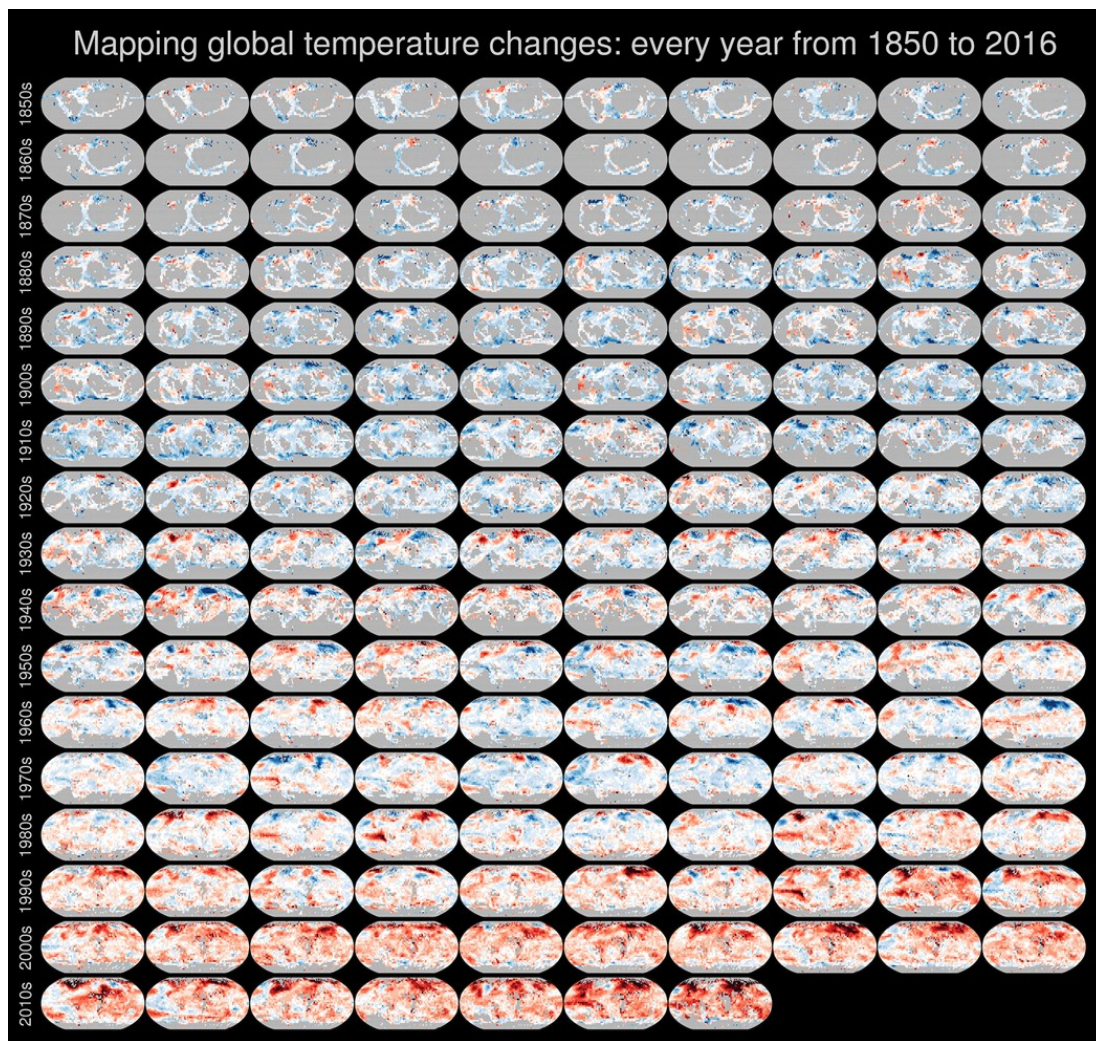


Figura 48 – Cartografia das mudanças de temperatura globais, 1850 – 2016.

Fonte: <https://www.wired.com/wp-content/uploads/2016/08/climatechangeTA.jpg>

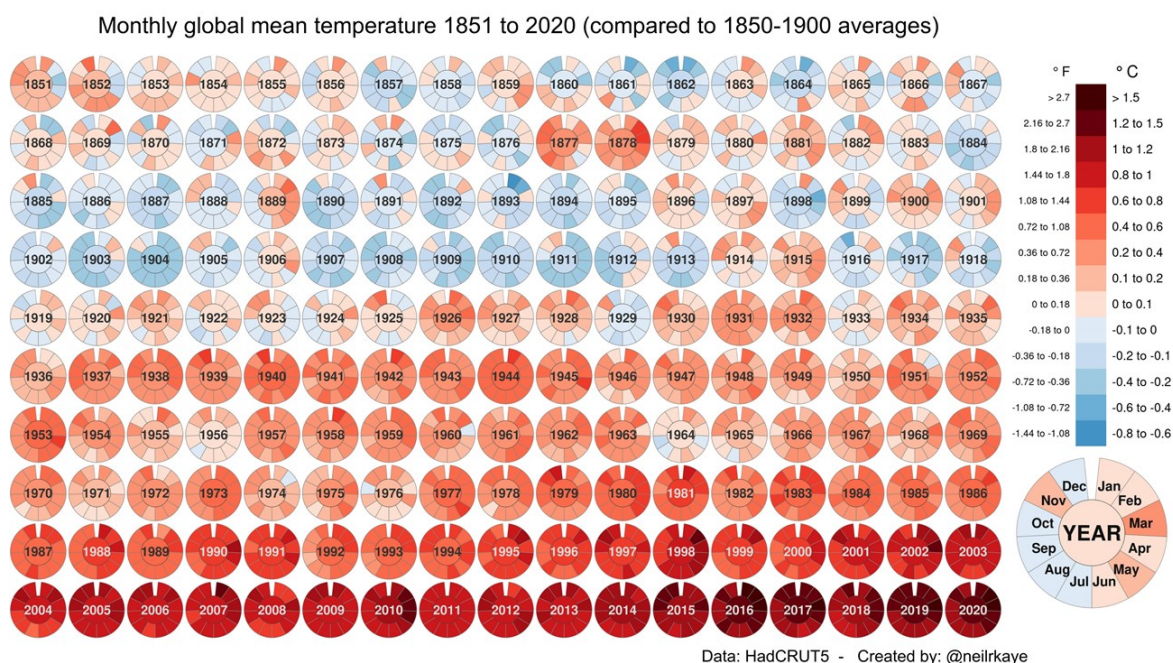


Figura 49 – Temperaturas médias globais, 1851-2020, comparadas com o valor médio 1850-1900.

Fonte: <https://www.visualcapitalist.com/global-temperature-graph-1851-2020/>

Global Temperature Trend from 0 to 2019 AD

Temperature Deviation (C) from 1961-1990 Average
Year: 2019

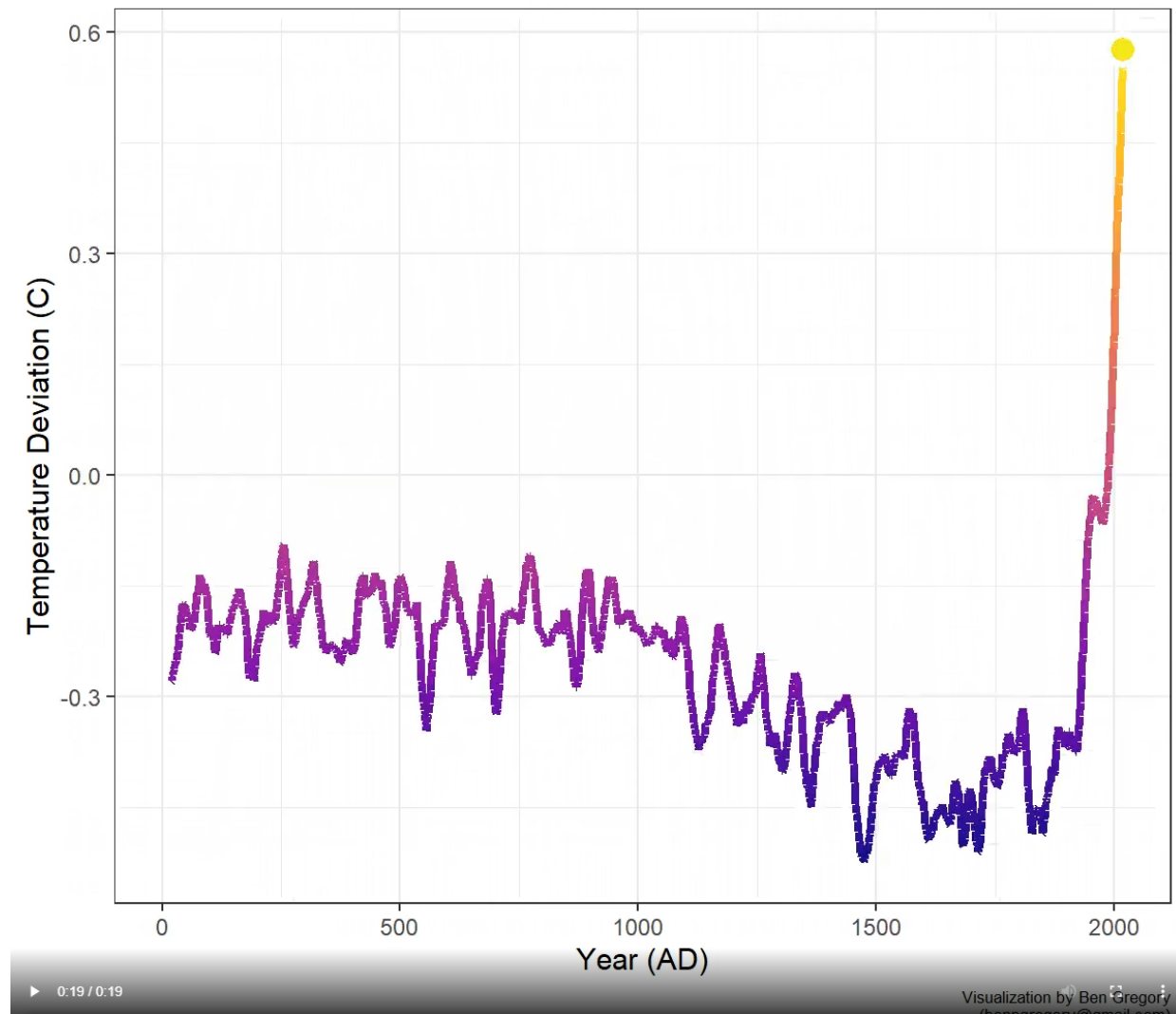


Figura 50 – Animação (ver na fonte) da evolução da temperatura, 0 a 2019, em relação à média 1961-1990.
Fonte: <https://preview.redd.it/>

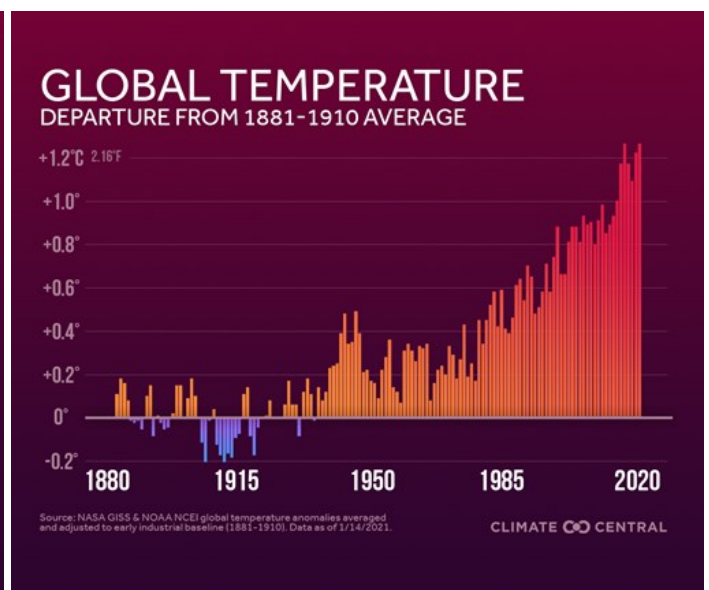
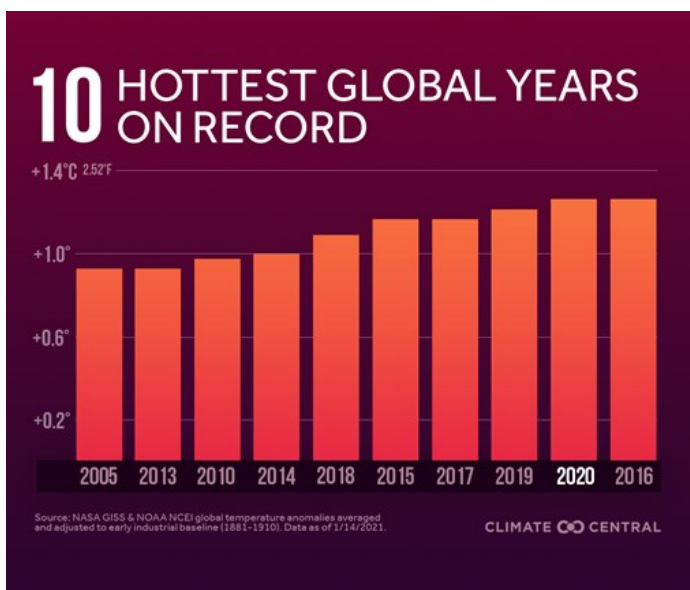


Figura 51 – Os 10 anos mais quentes de sempre – desde que há registos - a nível global, gráfico de barras dos desvios da temperatura em relação à média global, 1881-1910.
Fonte: <https://medialibrary.climatecentral.org/>

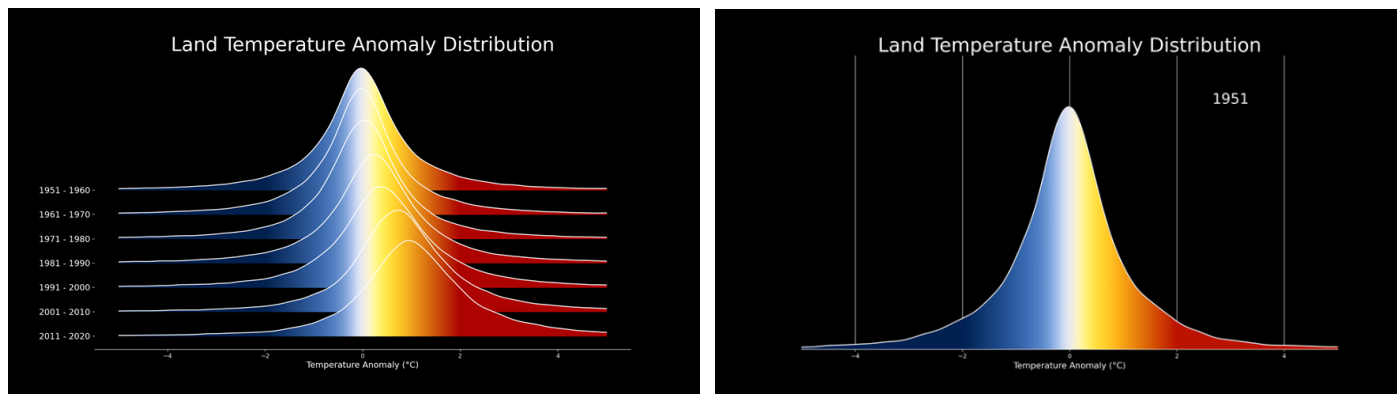


Figura 52 – Evolução da distribuição das anomalias da temperatura terrestre global, 1951-2020, gráfico à esquerda e animação (ver fonte) dessa mesma evolução, com 30 segundos.

Fonte: <https://svs.gsfc.nasa.gov/4891>

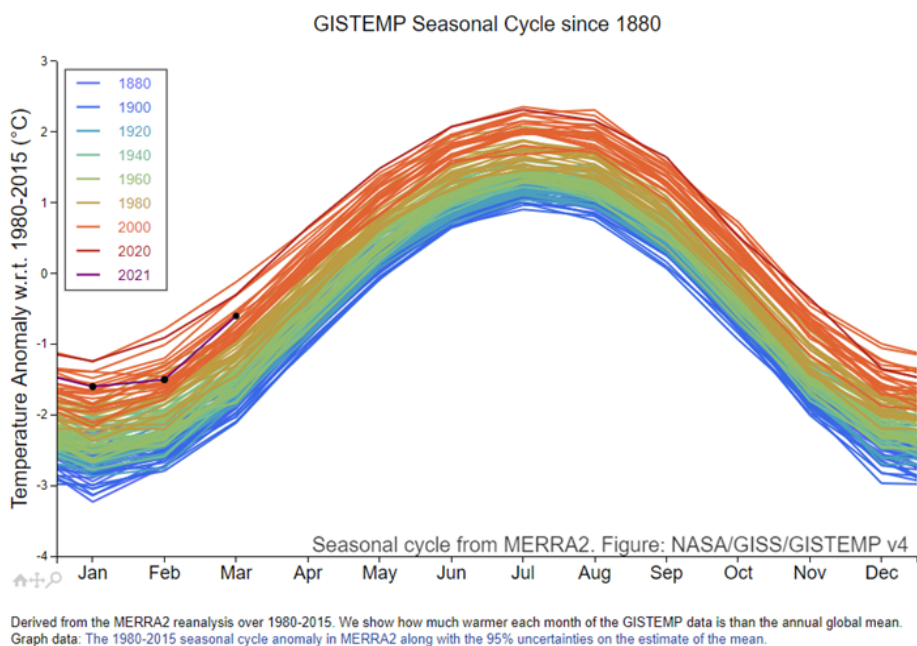


Figura 53 – Evolução das anomalias térmicas mensais globais, 1880-2021, em relação à média 1980-2015.

Fonte: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/

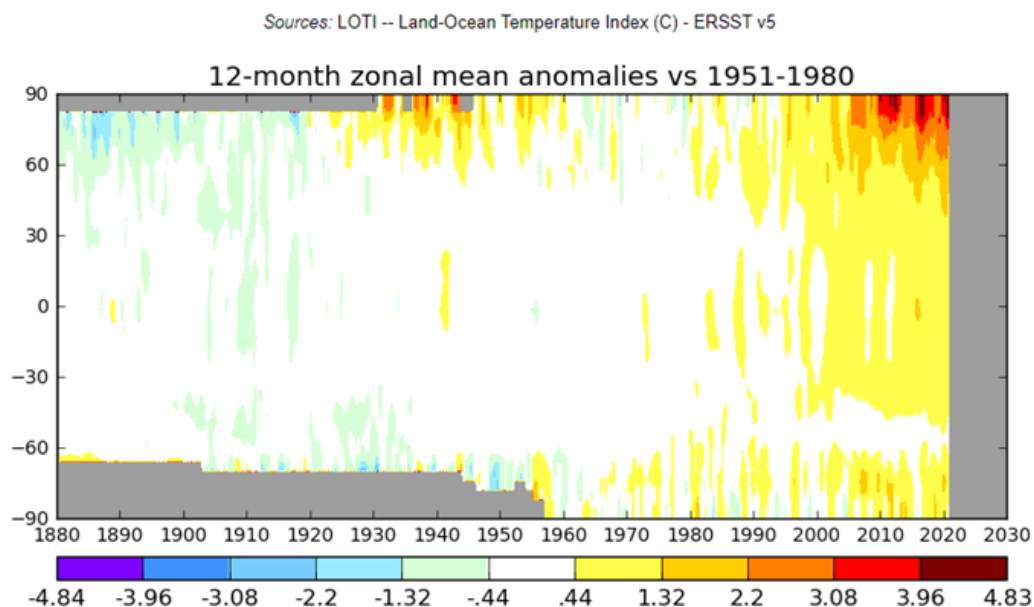


Figura 54 – Anomalias térmicas anuais, entre 1880-2020, em função da latitude, em relação à média 1851-80.

Fonte: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/zonal_means/

Existe, também, muita informação relativa a gelo marinho, neve e glaciares, seguem-se alguns exemplos que, tal como os anteriores, despertaram interesse e curiosidade pelos participantes na conferência e acção de formação. Todos os exemplos escolhidos, dos vários indicadores, ilustram o que se esperaria dos factos e das conclusões do IPCC, explorando os respectivos sítios de internet encontra-se muito mais informação, dados, imagens, infografia.

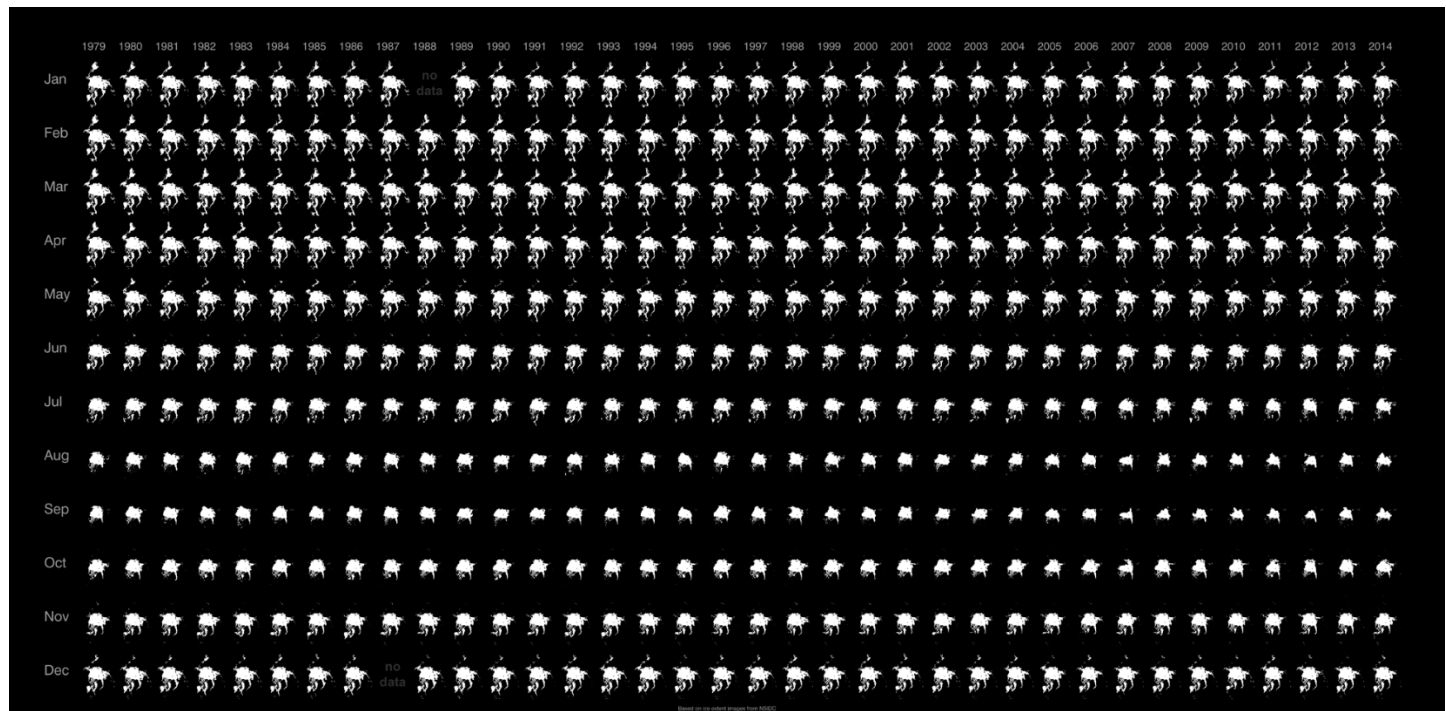


Figura 55 – Extensão do gelo no mar Ártico, por mês, 1979 – 2014.
 Fonte: Alta resolução https://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a004200/a004204/arctic_ice_extent_12264x6016.tif

Widespread Melt on the George VI Ice Shelf

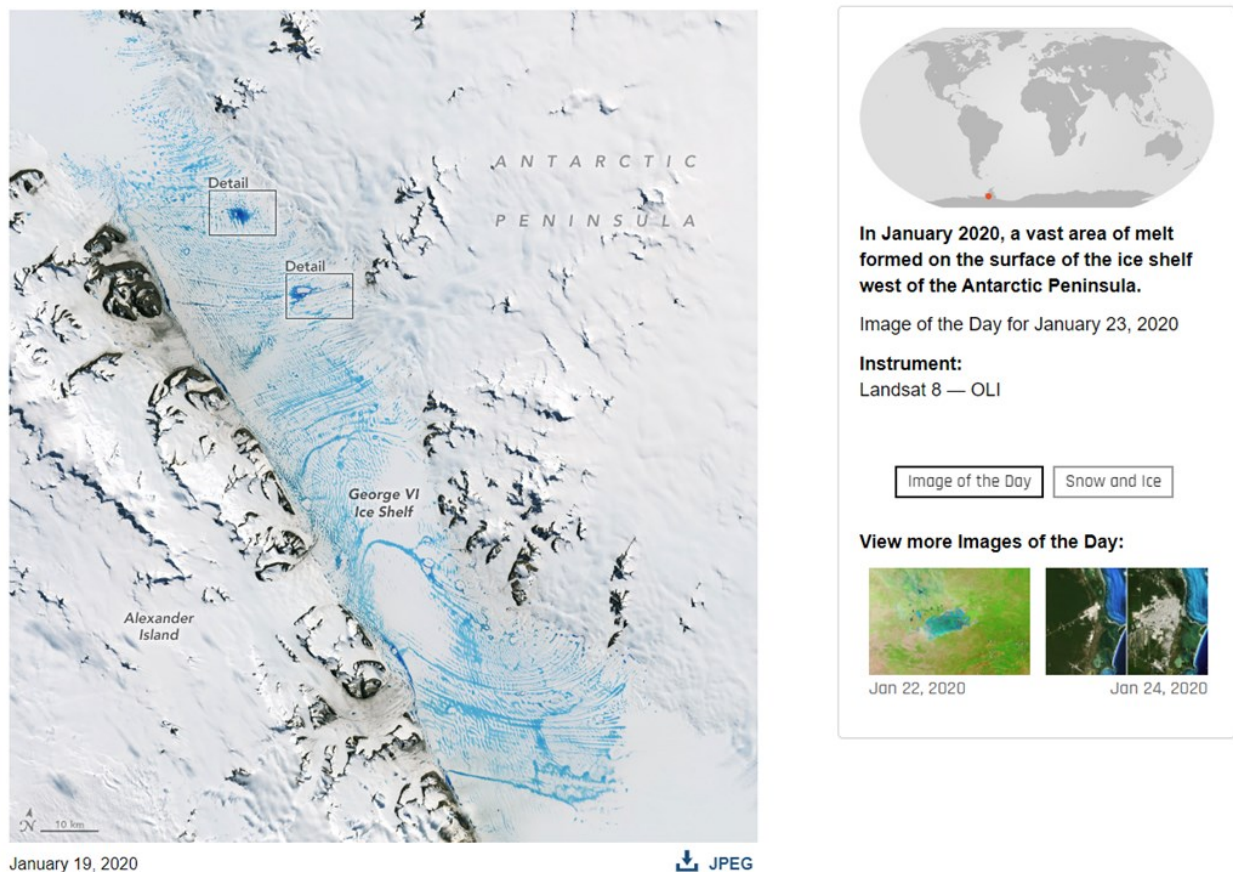


Figura 56 – Degelo generalizado no Glaciar George VI, Antárctida, Janeiro de 2020.
 Fonte: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146189/widespread-melt-on-the-george-vi-ice-shelf>

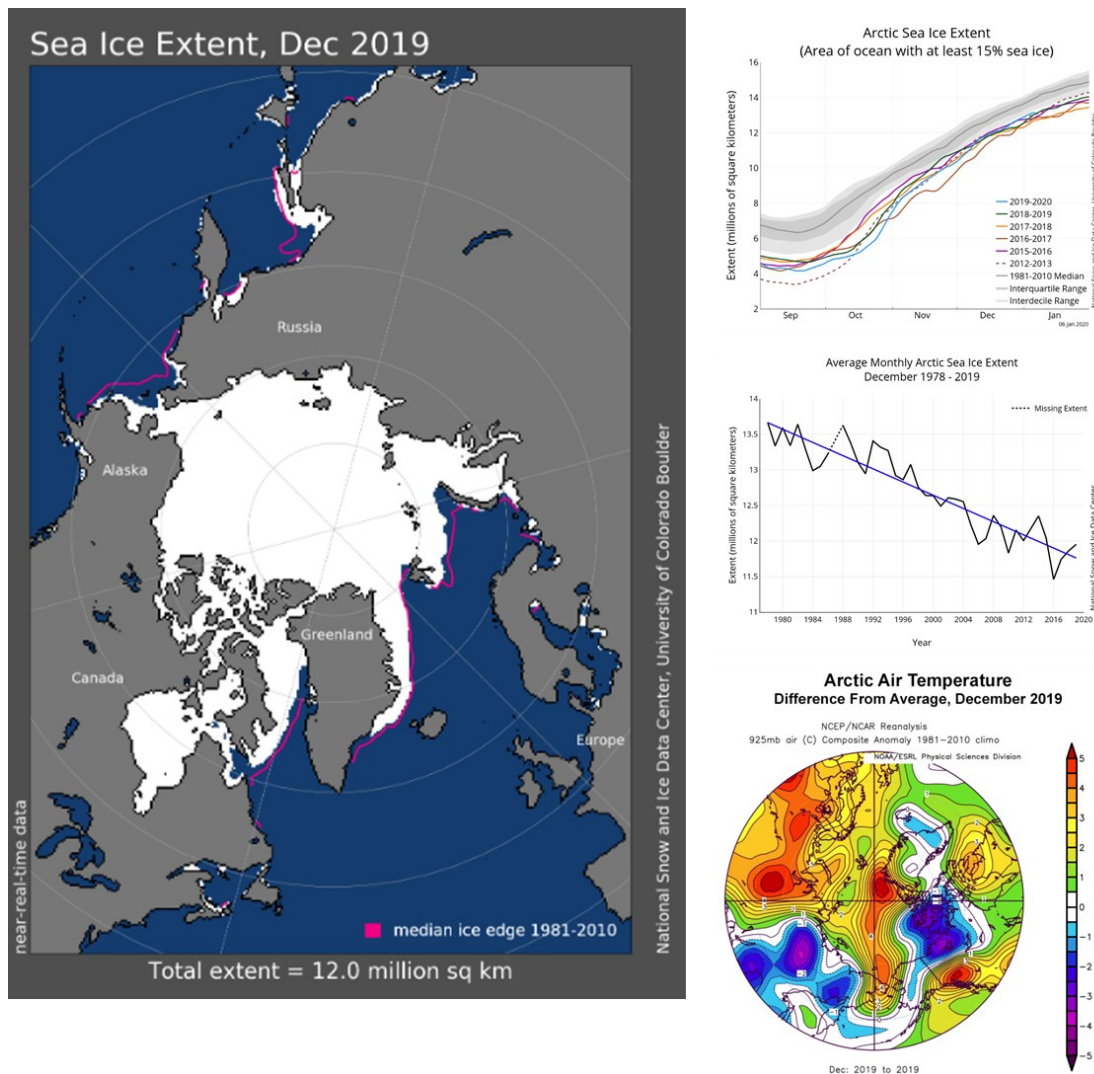


Figura 57 – Extensão do gelo marinho no Ártico, em Dezembro de 2019, gráficos com a evolução média mensal e desvio, extensão média mensal (em claro e importante decréscimo), anomalia térmica no Ártico, projecção polar, Dezembro de 2019. Na fonte existe muito mais informação, actualizada, quase em tempo real e, também, para a Antárctida, Gronelândia, além de relatórios anuais e sazonais (NSIDC – National Snow & Ice Data Center).
 Fonte: <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2020/01/thats-a-wrap-a-look-back-at-2019-and-the-past-decade/>

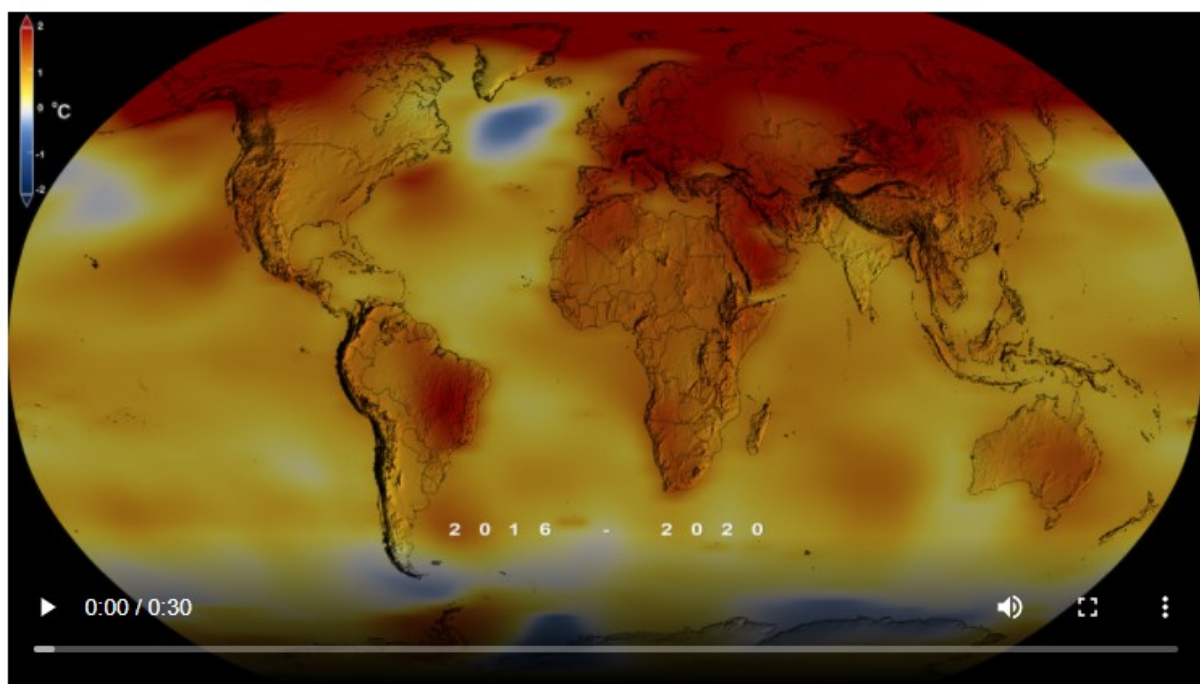


Figura 58 – Animação (ver fonte e opções de download) das anomalias da temperatura global, 1880-2020.
 Fonte: <https://svs.gsfc.nasa.gov/4882>

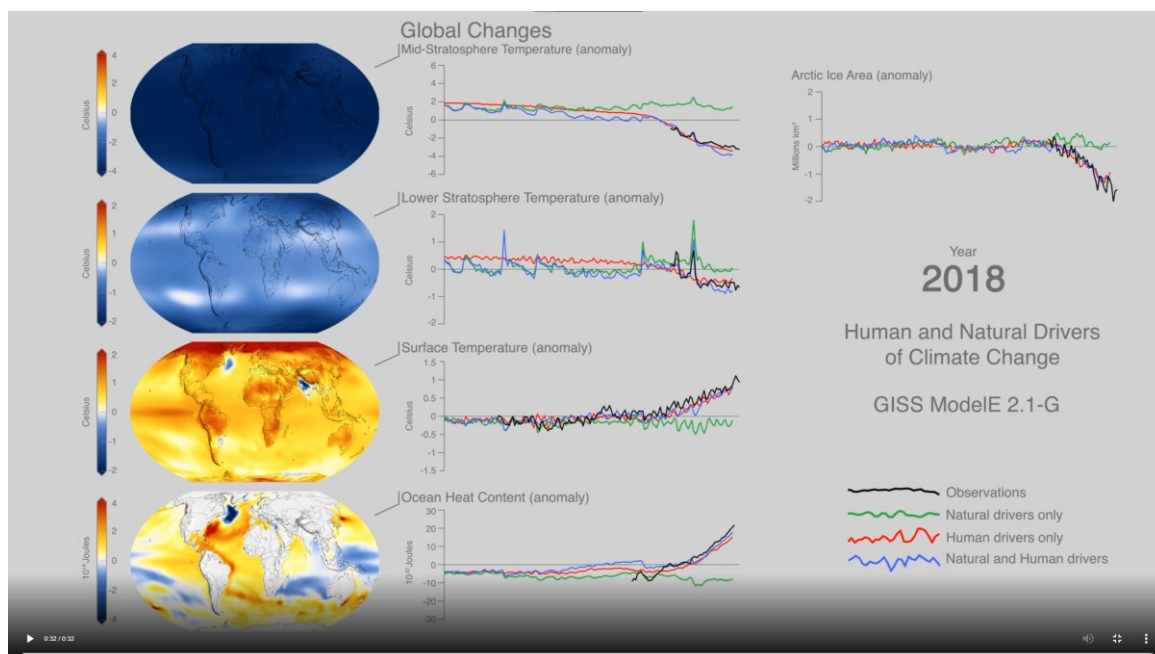


Figura 59 – Animação (ver fonte e opções de download) dos vários indicadores de alterações climáticas, anomalia de teor de calor no oceano, anomalia da temperatura de superfície, anomalia térmica na baixa e média estratosfera, anomalia de área de gelo no Ártico, discriminados por observações, “condutores” (*drivers*) naturais, humanos e combinados, para o período 1850-2018.

Fonte: https://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a004900/a004908/ClimateDrivers_1080p30.mp4

Existe muita informação, de fontes de confiança, globais e institucionais, nacionais ou multinacionais, para muitos indicadores, seria impossível mostrar ou apontar muito mais, quando adiante se falar de recursos institucionais *online*, falaremos nisso. Como último exemplo, Figura 60, abaixo, cartografia da anomalia térmica de 2020, ano mais quente (empatado com 2016), desde que há registos. Uma nota muito importante, o sítio de onde foi retirado – NASA Earth Observatory: <https://earthobservatory.nasa.gov/> – é total, absoluta e completamente obrigatório para qualquer geógrafo, eu utilizo-o constantemente para procurar material para aulas, artigos, por puro prazer ou curiosidade, por isso gostaria de introduzir um pouco a estrutura do sítio, o material que tem e como começar a explorá-lo.

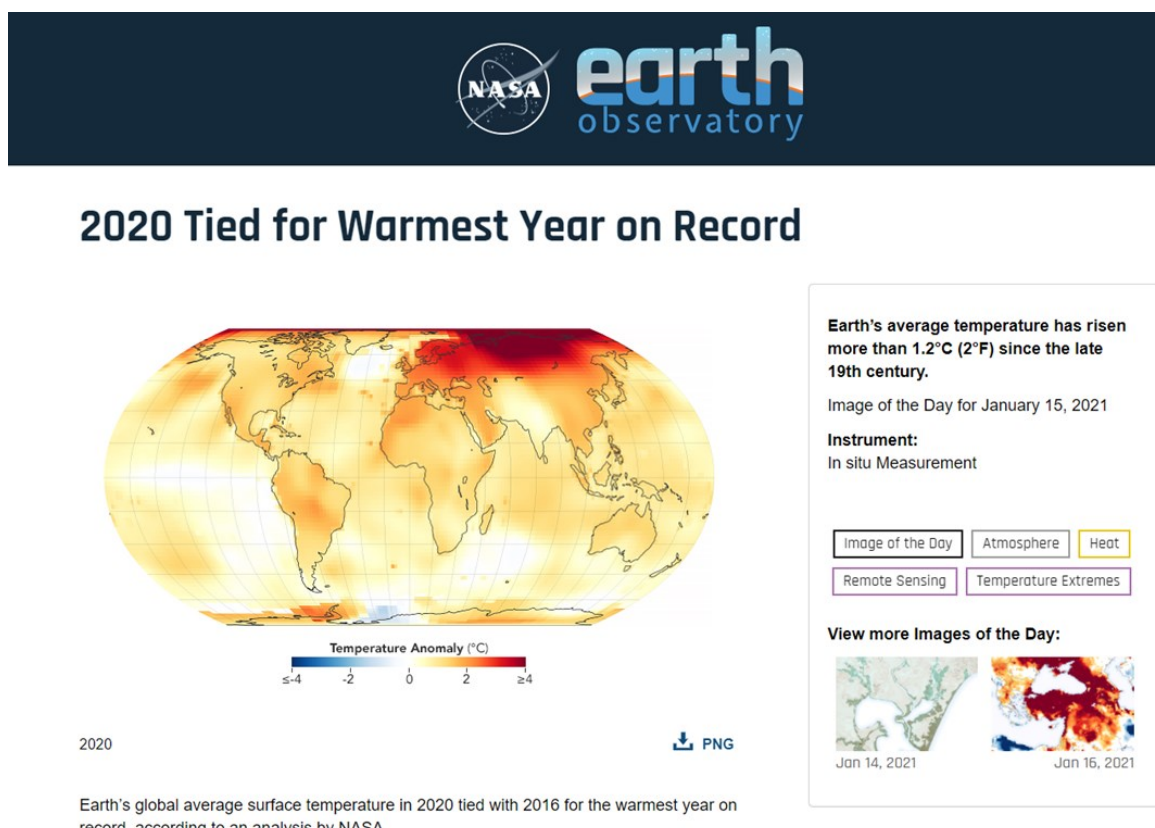


Figura 60 – 2020 empatado com 2016 como ano mais quente de que há registo.

Fonte: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/147794/2020-tied-for-warmest-year-on-record>

Um aspecto essencial, como poderão verificar mal comecem a “exploração”, é a qualidade da informação, rigor dos metadados de toda e qualquer imagem, quantidade e qualidade das referências bibliográficas, carácter didáctico, científico, mas também de divulgação geral da informação contida. Há (Figura 61, abaixo) uma quantidade enorme de imagens, que podem ser procuradas por temas (atmosfera, calor, humanos, terra, vida, eventos naturais, água, gelo e neve...), por data, ou interactivamente num mapa EO Explorer (<https://earthobservatory.nasa.gov/map#2/0.0/0.0> 11690 imagens).

Há mapas globais, para vários temas, para períodos alargados de tempo, animados, há artigos vários e *blogs*. Mas, mais importante, para quem queira seguir quotidianamente esta informação, podem acompanhar o Earth Observatory nas redes sociais (Facebook, Twitter, Instagram, por *newsletter* ou *feed* RSS), recebendo quotidianamente os posts, sempre interessantes, com um bom texto explicativo, ligações e bibliografia.

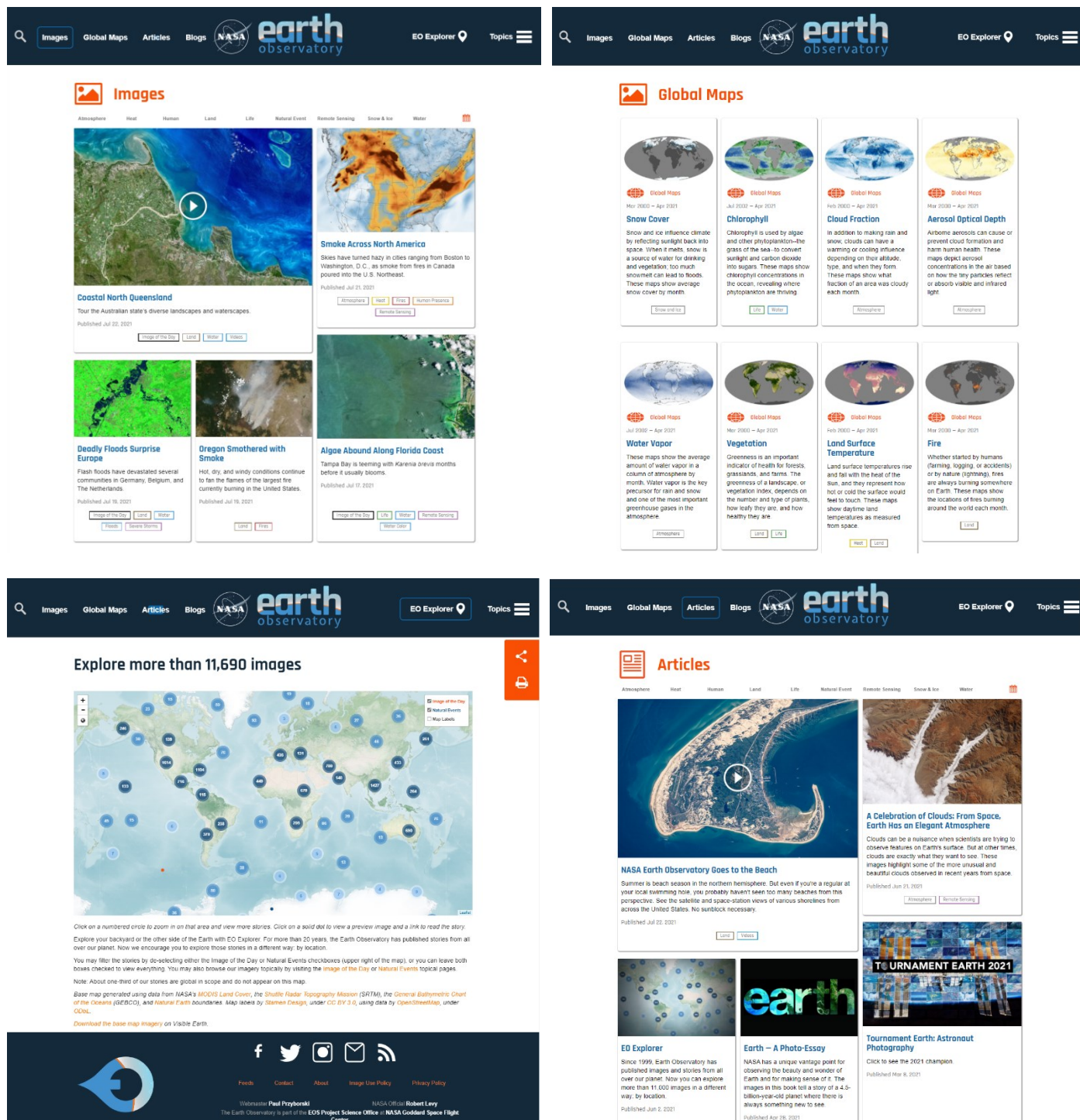


Figura 61 – NASA “Earth Observatory”.

Fonte: <https://earthobservatory.nasa.gov/>

Há um sítio de internet, digamos, mais técnico, NASA “Visible Earth” - <https://www.visibleearth.nasa.gov/> onde podem aprofundar a busca por, ainda, outros tipos de informação, por fontes, colecções, tipos de sensores, etc., mas neste caso nem sempre há um texto a apoiar ou referências.

Causas

Depois de apresentados dados, relativos aos indicadores, que validam a existência de aquecimento global, no contexto das alterações climáticas, passamos então às causas, sua quantificação e dados relativos a elas, bem como à demonstração de que as causas são, inequivocamente, antrópicas. O IPCC - Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas ⁽¹⁶⁾, corpo das Nações Unidas, criado em 1988 pela WMO (Organização Meteorológica Mundial) e UNEP (Programa das Nações Unidas para o Ambiente), para avaliar a ciência relacionada com as alterações climáticas, ganhou o Nobel da Paz em 2007 ⁽¹⁷⁾, “pelo seu esforço para desenvolver e disseminar maior conhecimento sobre as alterações climáticas de origem antrópica e lançar as bases para as medidas que são necessárias para contrariar tais mudanças”. Contudo, como se pode ver na imagem (Figura 62, abaixo), o peso do contributo humano para o aquecimento global foi mudando, ao longo dos tempos, entre 1990 e 2013, nos vários relatórios e documentos do IPCC.

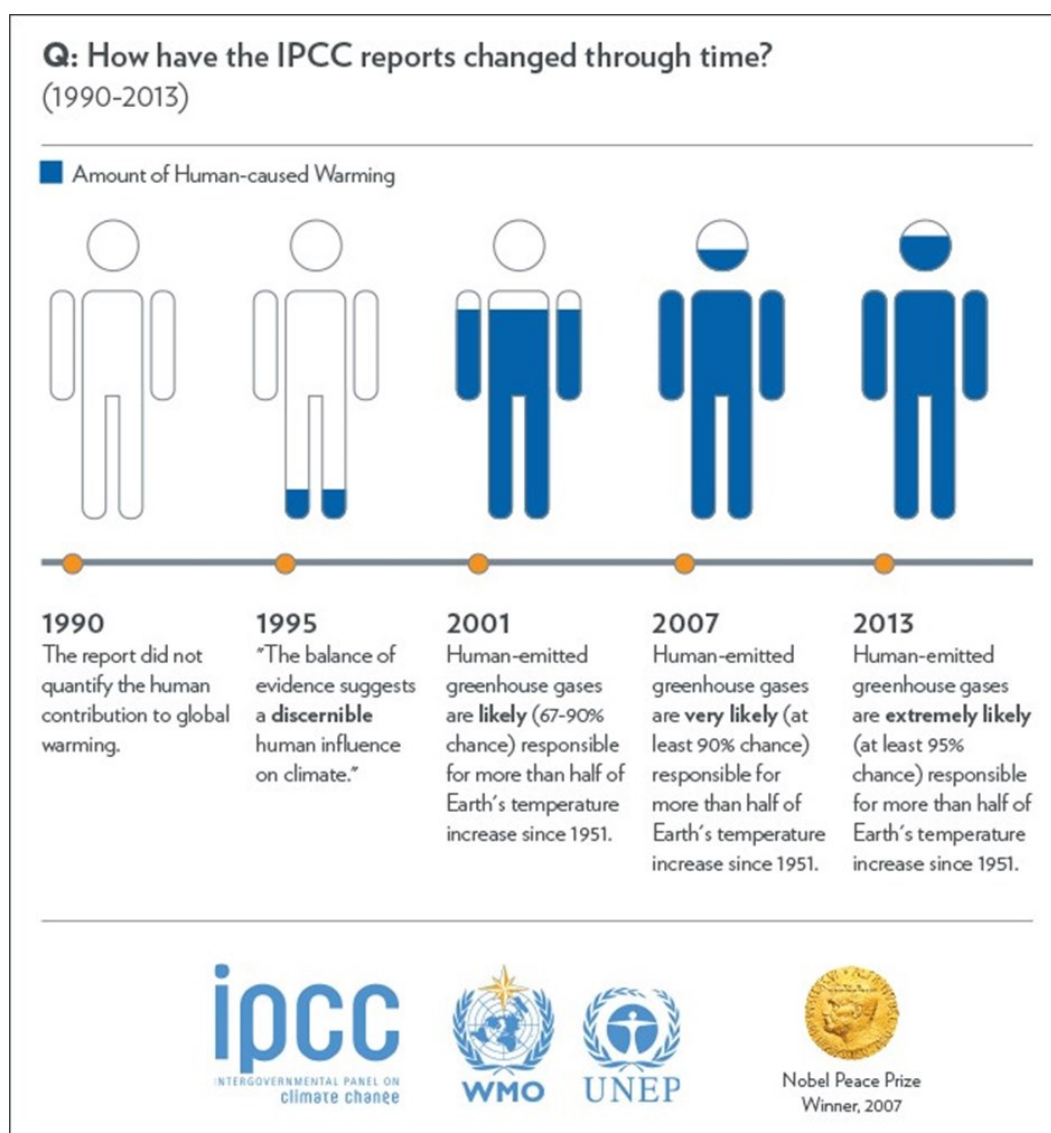


Figura 62 – Como mudaram os relatórios do IPCC ao longo do tempo, quanto ao peso atribuído à contribuição humana para as alterações climáticas, entre 1990 e 2013.

Fonte: <https://www.ucsusa.org/sites/default/files/imagens/2017/07/Humantcontribution.jpg>

No relatório de 1990, a contribuição humana para o aquecimento global não era quantificada, em 1995 o equilíbrio das provas sugeria uma influência humana no clima, em 2001 os gases de efeito de estufa emitidos pela actividade humana são provavelmente (67-90% probabilidade) responsáveis por mais de metade do aumento de temperatura da Terra desde 1951, em 2007 essa probabilidade para a muito grande (pelo menos 90%) e em 2013 (no documento The Physical Science Basis), a contribuição humana passa a extremamente provável (pelo menos 95% de probabilidade), por mais de metade da subida da temperatura da Terra desde

¹⁶ - <https://www.ipcc.ch/>

¹⁷ - <https://www.nobelprize.org/prizes/peace/2007/summary/>

1951. No documento de 2021 a causa é total e inequívoca. Portanto, a própria análise do IPCC, baseada nas instituições, organismos e cientistas, estudos, análises e ciência produzida, foi evoluindo.

A primeira infografia acerca deste tema - o que está realmente a aquecer o mundo - de 2015 feita pela Bloomberg (Figura 63, abaixo) e disponível em <https://www.bloomberg.com/graphics/2015-whats-warming-the-world/>, é perfeita para ilustrar e separar os vários factores naturais envolvidos (mudanças orbitais, actividade solar e vulcânica), bem como os humanos (uso do solo, ozono, aerossóis e gases de efeito de estufa), rebatendo e clarificando alguns (falsos) argumentos de negacionismo. Esta infografia interactiva é ótima, também, porque explica claramente e documenta (no fim da página) qual a metodologia, os dados, as anomalias, o significado das linhas, os graus de confiança e dá, até, acesso aos dados utilizados. As fontes, modelos e organismos envolvidos são, digamos, intocáveis, a transparência total, infelizmente os dados acabam em 2015, alguns antes.

What's Really Warming the World?

By Eric Roston and Blacki Migliozi | June 24, 2015

Skeptics of manmade climate change offer various natural causes to explain why the Earth has warmed 1.4 degrees Fahrenheit since 1880. But can these account for the planet's rising temperature? Scroll down to see how much different factors, both natural and industrial, contribute to global warming, based on findings from NASA's Goddard Institute for Space Studies.

Compare and Contrast

Putting the possible natural and human causes of climate change alongside one another makes the dominant role of greenhouse gases even more plainly visible. The only real question is: What are we going to do about it?

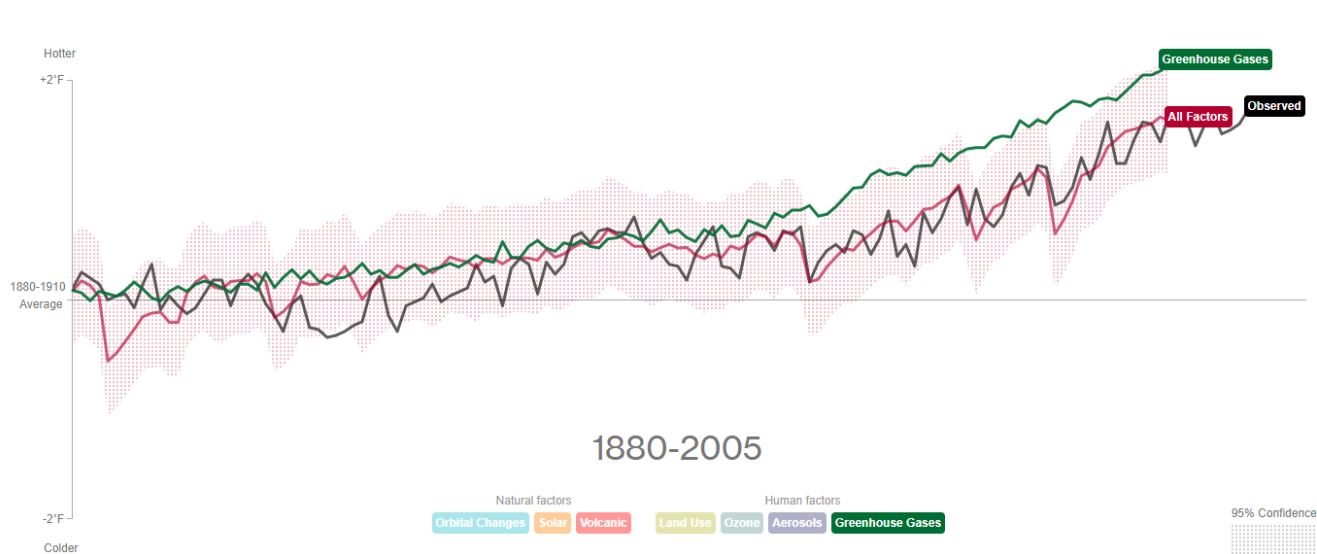


Figura 63 – O que está realmente a aquecer o mundo? Infografia, seguir para a fonte, ir descendo na página.
Fonte: <https://www.bloomberg.com/graphics/2015-whats-warming-the-world/>

Sem querer descrever os vários passos, percebe-se, como se pode ver no gráfico final, acima, que alguns factores não têm contributo, ou que se anulam; somando todos os factores naturais, que têm oscilações ao longo do tempo, não há correlação com o aumento de temperatura efectivamente observado. Quando se analisam os factores humanos, percebe-se que as mudanças de uso do solo (sobretudo por via do aumento do albedo) contrariam, ligeiramente, mas de forma crescente o aumento da temperatura (correlação negativa), que o mesmo se passa com os aerossóis, com mais intensidade, que o ozono não apresenta correlação, mas que os gases de efeito de estufa, emitidos pela actividade humana, correlacionam quase na perfeição com o aumento de temperatura, dentro da margem de 95% de confiança.

Somando todos os factores humanos, os que contribuem positiva e negativamente, o acerto da linha de tendência é ainda maior e mais estreito, pois a margem de confiança de 95% estreita também. Se por fim se

incluïrem, também, os factores naturais, percebem-se as razões de algumas inflexões na linha de tendência, ao longo da série, sobretudo por razões ligadas ao vulcanismo e actividade solar. Segundo o AR6 do IPCC, publicado em Agosto de 2021, com dados actualizados até 2020 (Figura 64, abaixo) pode-se ver que o aumento actualmente observado, mais 1 ° C, não tem paralelo em mais de 2000 anos e representa o período mais quente dos últimos 100.000 anos. A linha preta representa as temperaturas registadas, a cinzenta os valores reconstruídos com base nos arquivos paleoclimáticos, sendo a macha cinzenta-clara o intervalo de confiança muito provável. No lado direito está representada, a preto, a variação medida das temperaturas globais à superfície nos últimos 170 anos, relativamente à média 1850-1900, e os “condutores” naturais e humanos desse aumento, podendo-se verificar, ainda mais e com mais intensidade que na simulação anterior (Figura 63, acima) como somente a inclusão das causas humanas explica a variação.

Changes in global surface temperature relative to 1850-1900

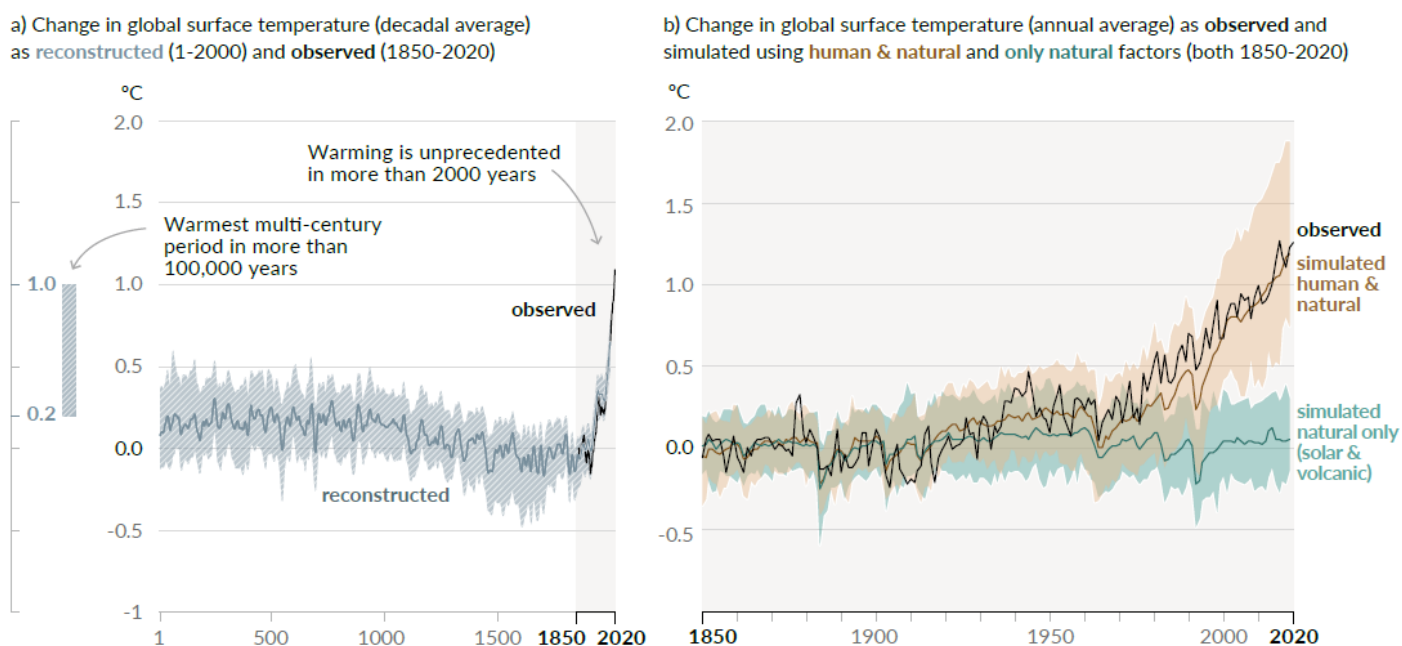


Figura 64 – História das mudanças globais de temperatura e causas de aquecimentos recente.

Fonte: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

Contributions to observed surface temperature change over the period 1951–2010

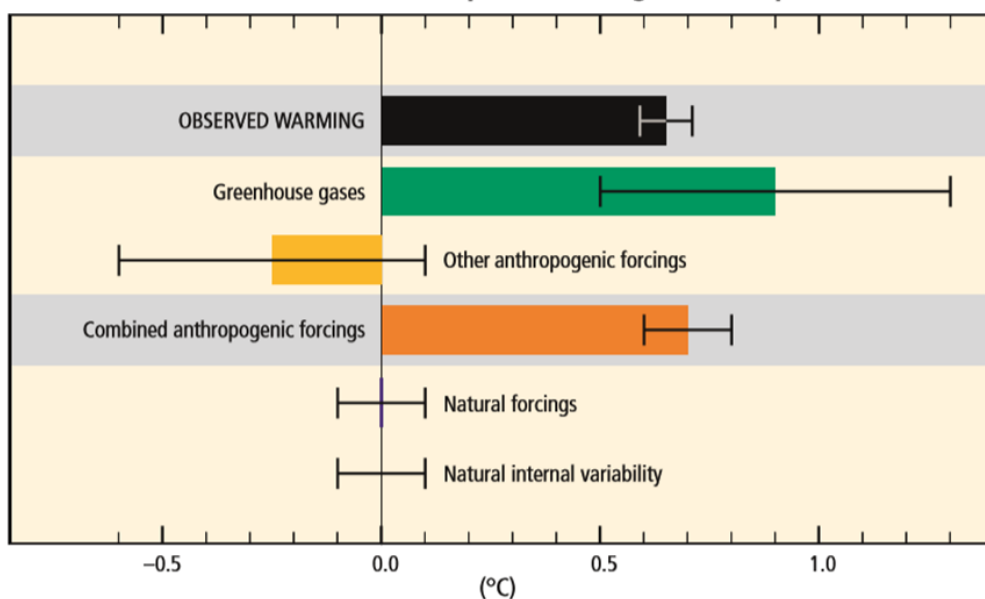


Figura 65 – Contributo de vários factores, para as mudanças de temperatura à superfície, 1951 – 2010.

Fonte: https://ar5-syr.ipcc.ch/ipcc/ipcc/resources/pdf/IPCC_SynthesisReport.pdf

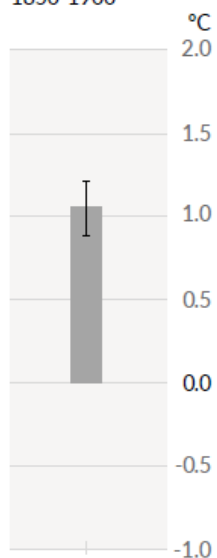
Segundo os cálculos do IPCC, podem-se discriminar os contributos de vários factores, para as mudanças de temperatura à superfície, observadas entre 1951 e 2010 (Figura 65, acima), quantificados em aumento ou diminuição da temperatura global. Começando do topo, o aumento de temperatura global, à data (2010), era de cerca de 0.65 °C, os “bigodes” dão a margem de variação das medições, que é estreita. O contributo dos gases de efeito de estufa emitidos ronda 0.9 °C, mas há uma amplitude muito maior das estimativas, que variam entre 0.5 e 1.3 °C de aumento. Se deduzirmos outros factores humanos, que contribuem para baixar a temperatura (aerossóis, mudanças de uso do solo), que têm, contudo, um valor estimado com grande amplitude (entre – 0.6 e + 0.1 °C), todos os *forcings* antrópicos combinados dão um valor próximo de 0.7 °C, o que alinha com os 0.65 °C do aumento medido. Como se pode ver, nas últimas barras, a variabilidade e factores naturais são mínimos, ou neutros tendo em conta a amplitude da variação.

Observando a avaliação mais recente, publicada no AR6 do IPCC em Agosto de 2021 (Figura 66, abaixo), comparando os contributos para o aquecimento global, neste caso 2010-2019 com 1850-1900, pode-se concluir o seguinte:

1. No painel a), à esquerda, relativo ao aquecimento observado, há um aumento efectivo, medido, verificado, actual de mais 1 °C global, havendo estimativas um pouco acima ou abaixo (“bigodes”) com uma margem estreita e, portanto, muito elevada probabilidade;
2. No painel b) estão os contributos agregados, com informação de modelos e observações, onde se pode verificar o peso enorme dos factores humanos para o aumento, em parte para a diminuição (azul) e o peso quase inexistente dos factores “naturais”;
3. No painel c) a avaliação do “forçamento” radiactivo e sensibilidade climática, onde se pode ver, mais desagregados, os factores que contribuem positiva (quase exclusivamente gases de efeito de estufa) e negativamente (quase exclusivamente aerossóis), bem como as mudanças de uso do solo e, separadamente, os rastros dos aviões na alta atmosfera.

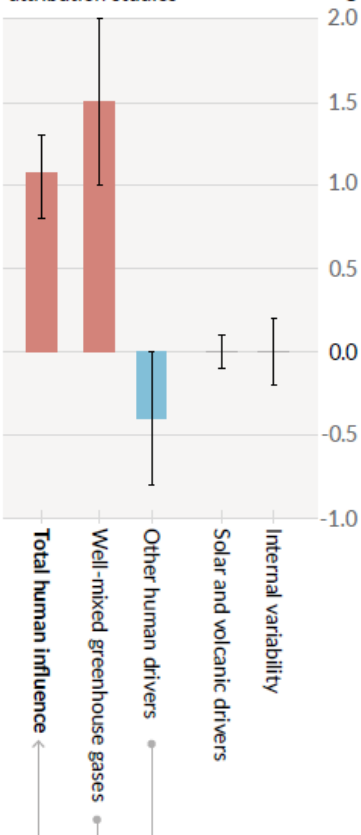
Observed warming

a) Observed warming 2010-2019 relative to 1850-1900



Contributions to warming based on two complementary approaches

b) Aggregated contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from attribution studies



c) Contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from radiative forcing studies

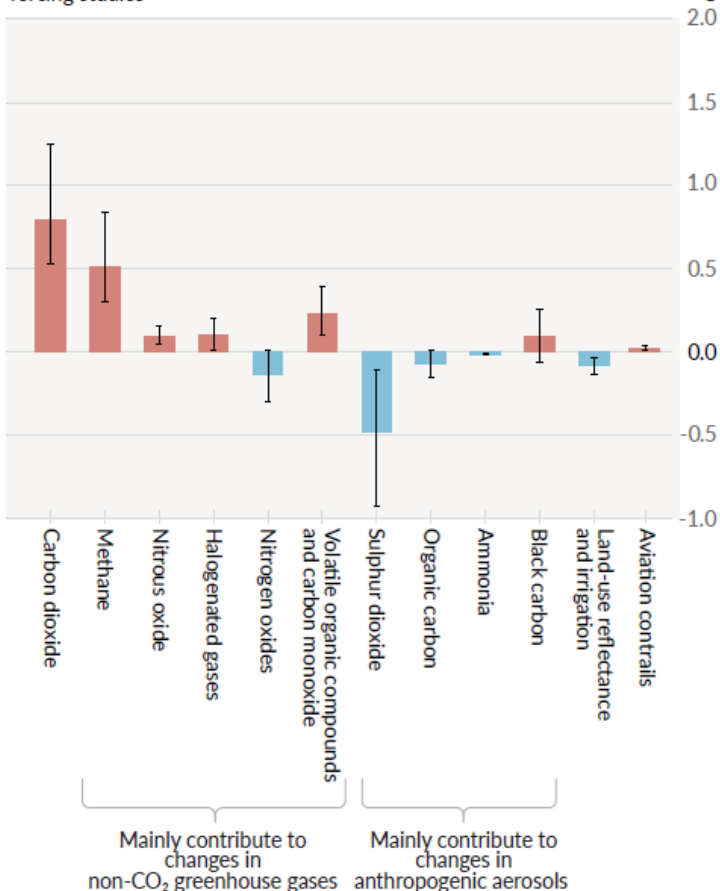


Figura 66 – Avaliação de contributos para o aquecimento global em 2010-2019 relativamente a 1850-1900.

Fonte: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

Existem diversos estudos, que identificam os factores que têm efeito na temperatura global, para os quais há um consenso esmagador (<https://skepticalscience.com/a-comprehensive-review-of-the-causes-of-global-warming.html>), os principais são, claramente: as emissões humanas de gases de efeito de estufa, a emissão de aerossóis pelas actividades humanas (sobretudo dióxido de enxofre SO₂, emitido continuamente, ao contrário da actividade vulcânica) e partículas com vários efeitos (que bloqueiam a luz solar, constituem núcleos de condensação nas nuvens, etc.) e nos naturais a actividade solar (mais ou menos radiação a atingir o topo da atmosfera), actividade vulcânica (baixa a temperatura a curto prazo, 1-2 anos, há múltiplas provas históricas disso ⁽¹⁸⁾ e a alternância ENSO – El Niño Southern Oscillation, com fases quentes (El Niño) ou quentes (La Niña) no Pacífico.

Analisando o gráfico (Figura 67, abaixo), com a representação do peso percentual que os vários factores têm, no seu contributo para o aquecimento global, segundo vários estudos com métodos independentes, vários aspectos se destacam: a contribuição dos gases de efeito de estufa antrópicos é, no mínimo 100% (os valores maiores resultam de os vários modelos sobrestimarem o factor), o dióxido de enxofre (de origem antrópica) contraria o aquecimento (daí algumas ideias perigosas de geo-engenharia ⁽¹⁹⁾), a contribuição da actividade solar é muito baixa, tal como da vulcânica, menos ainda o ENSO. Contas feitas, a todos os factores, nos vários modelos dos vários estudos, o total dos factores humanos aproxima-se dos 100% de contribuição.

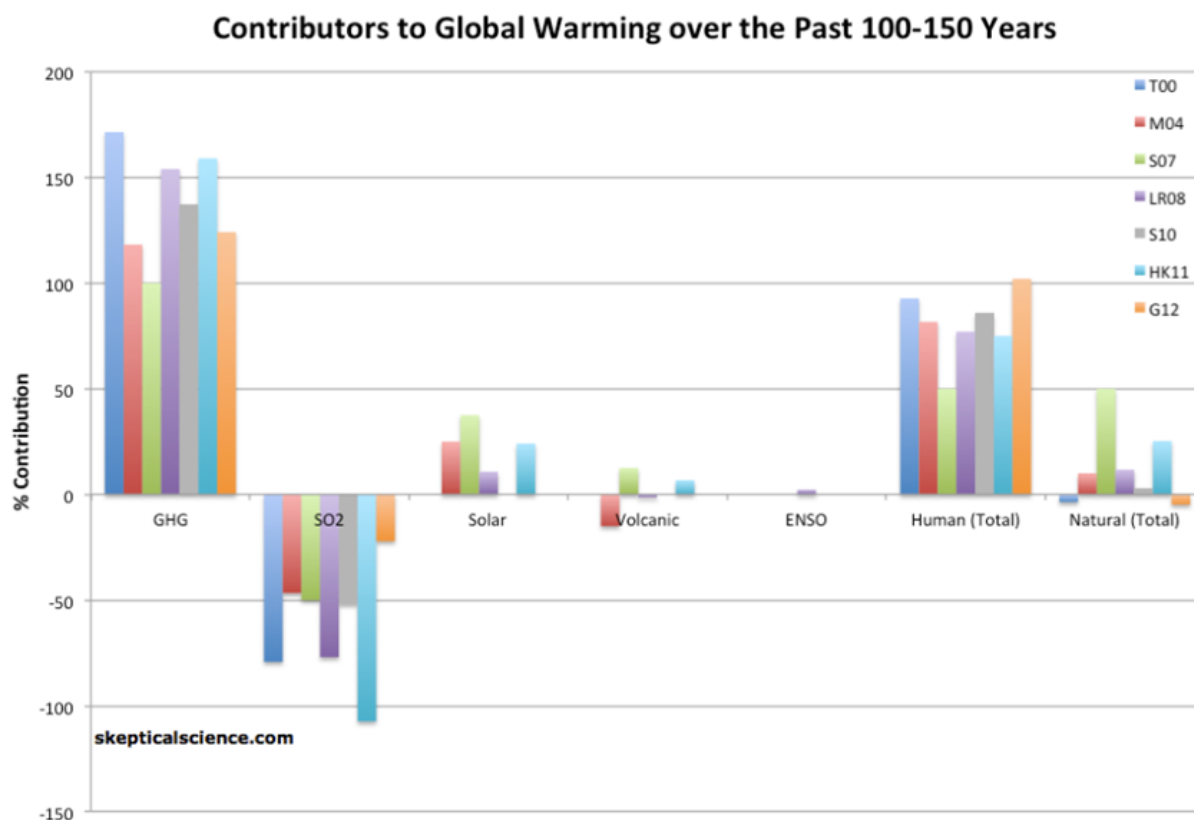


Figure 2: Percent contributions of various effects to the observed global surface warming over the past 100-150 years according to Tett et al. 2000 (T00, dark blue), Meehl et al. 2004 (M04, red), Stone et al. 2007 (S07, green), Lean and Rind 2008 (LR08, purple), Stott et al. 2010 (S10, gray), Huber and Knutti 2011 (HR11, light blue), and Gillett et al. 2012 (G12, orange).

Figura 67 – Contributo de vários factores para o aquecimento global, segundo vários estudos.

Fonte: <https://skepticalscience.com/a-comprehensive-review-of-the-causes-of-global-warming.html>

Antes de abordar o papel dos sumidouros de carbono (*carbon sinks*) e a origem das várias emissões, vale a pena olhar, especificamente para a actividade solar, desde 1880 (Figura 68, abaixo), pois é apontada como um dos principais factores pelo negacionismo do papel humano, central e comprovado, nas alterações climáticas. Efectivamente, se até 1940-50 se pode ver algum paralelismo nas linhas de tendência e ressaltos, as a partir daí não há qualquer relação, como já foi referido em vários estudos e informação anterior.

¹⁸ - https://en.wikipedia.org/wiki/Volcanic_winter

¹⁹ - Ver <https://weathermodificationhistory.com/stratospheric-sulfur-geoengineering-benefits-and-risks/>, <https://zerogeoeengineering.com/2021/high-latitude-stratospheric-aerosol-geoengineering-so2-injection/>, <https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2021/01/11/bill-gates-backed-climate-solution-gains-traction-but-concerns-linger/>

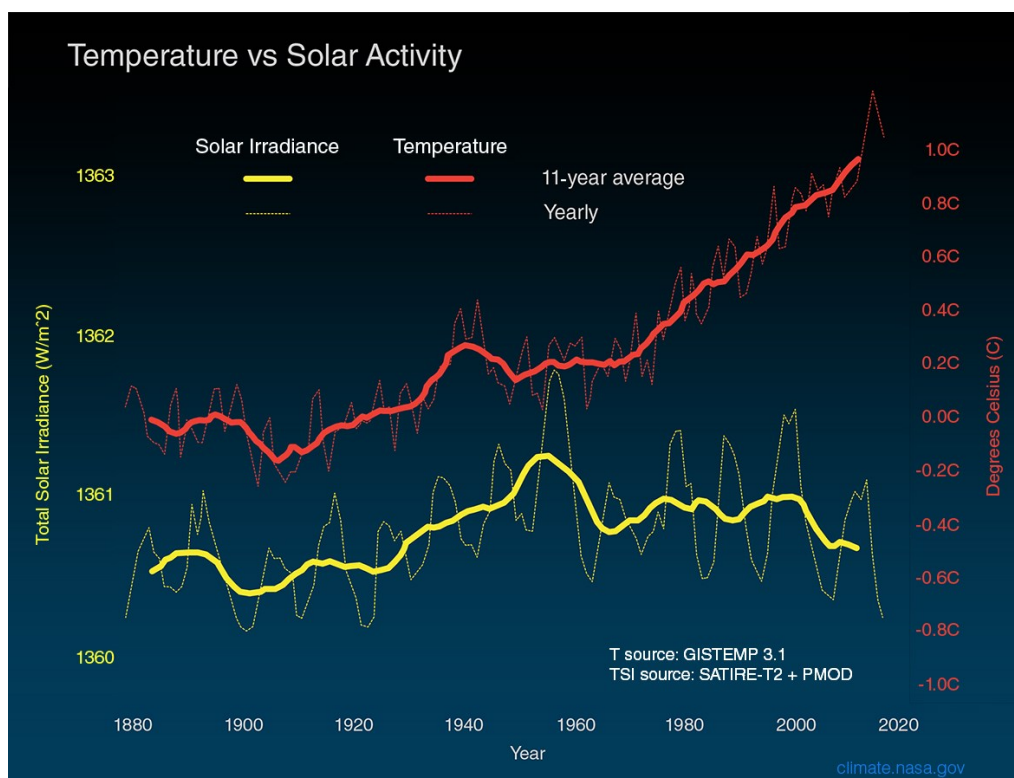


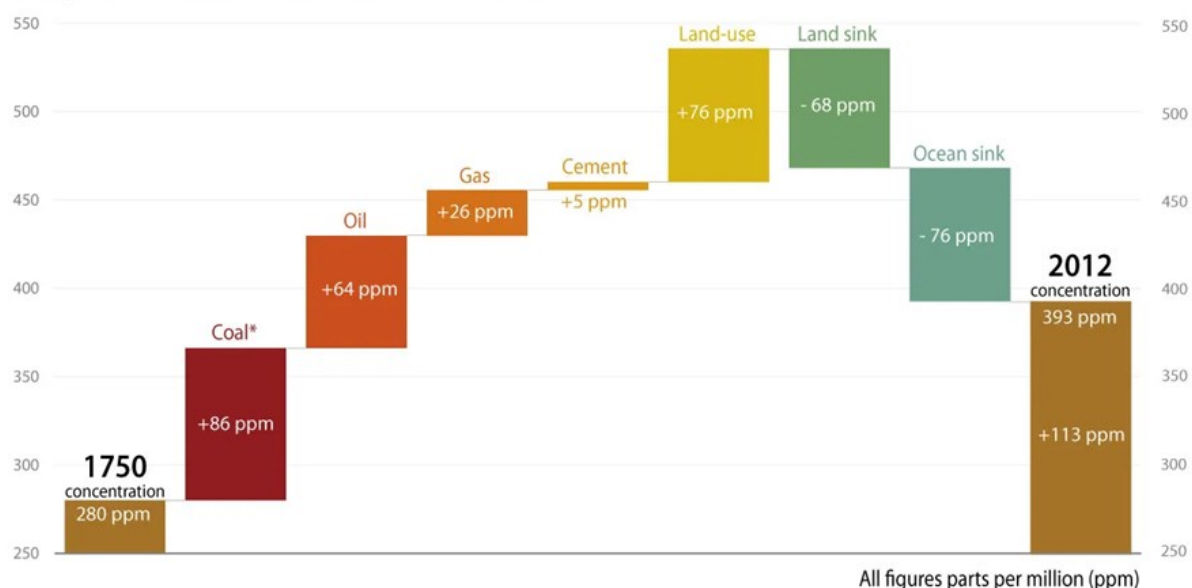
Figura 68 – Temperatura global e actividade solar, 1880-2020.

Fonte: https://climate.nasa.gov/internal_resources/1896/

Discriminando as fontes de emissão e sumidouros de carbono, entre 1750 e 2012, Figura 69, abaixo, pode-se quantificar qual o contributo, em concentração de CO₂, positivo ou negativo, desde as 280 ppm em 1750 às 393 ppm em 2012 (hoje, Julho de 2021 estamos perto de 420 ppm...). Cumulativamente, a queima de carvão (incluí emissões significativas de biomassa) contribuiu 86 ppm, do petróleo 64 ppm, do gás 26 ppm, a produção de cimento 5 ppm e as mudanças de uso do solo 76 ppm (+ 257 ppm no total). Em contrapartida, a terra (solos, vegetação) “absorveram” 68 ppm e os oceanos 76 ppm (- 144 ppm no total), o que dá um saldo positivo de mais 113 ppm de CO₂ ao longo da série, que ficaram na atmosfera, representando um acréscimo de 40.36%. Na parte inferior estão representados os valores absolutos, em Giga toneladas

The importance of carbon sinks

Increased absorption by land and ocean sinks since 1750 has ensured atmospheric carbon dioxide concentrations have not risen more



Notes: Carbon emissions and sinks are figures for 1750-2012. The 2012 concentration of 393 ppm reflects the global mean concentration which differs slightly from the more widely reported Mauna Loa figure. *Coal emissions include significant biomass emissions. Land-use emissions are the change in carbon stocks resulting from human-induced land use, land-use change and forestry activities, with deforestation the major driver.

Sources: IPCC (2007) WG1, Global Carbon Project, CDIAC, NOAA.

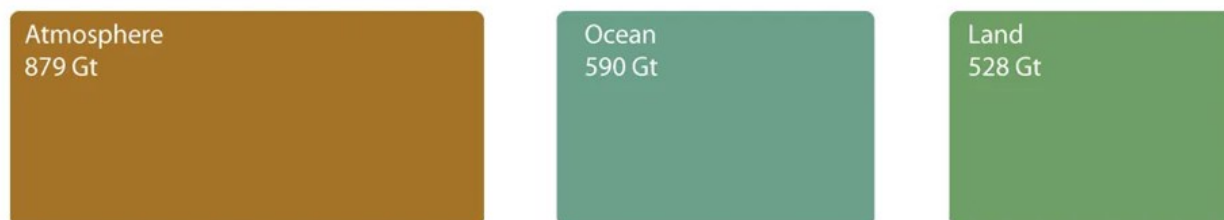
Further information: shrinkthatfootprint.com/carbon-emissions-and-sinks

shrinkthatfootprint.com

Carbon emissions and sinks since 1750



Where our carbon emissions have come from: carbon emission sources 1750-2012 (Gt CO₂)



Where our carbon emissions have gone: carbon emission sinks 1750-2012 (Gt CO₂)

Notes: Both emissions and sinks sum to 1,997 Gt CO₂. Land, ocean and atmospheric sinks represent the increased carbon dioxide absorption due to human emissions between 1750 and 2012. *Coal emissions are mostly coal but also include significant biomass emissions. Gas emissions include a small volume of flaring emissions. Land use change emissions are the net change in carbon stocks resulting from human-induced land use, land use change and forestry activities.

Sources: IPCC (2007) WG1, Global Carbon Project, CDIAC, NOAA.

Further information: shrinkthatfootprint.com/carbon-emissions-and-sinks

shrinkthatfootprint.com

Figura 69 – Fontes de emissão e sumidouros de carbono, 1750-2012.

Fonte: <http://shrinkthatfootprint.com/carbon-emissions-and-sinks>

Apurando a análise, discriminando o contributo por emissões e indicadores, o “forçamento” radiactivo (Figura 70, abaixo), medido neste caso em aumento ou diminuição de energia recebida por unidade de superfície (W m^{-2}), entre 1750 e 2012, mais ainda se torna evidente o peso esmagador do contributo antrópico, através da emissão de vários compostos. Destaca-se, em primeiro lugar, o dióxido de carbono (CO_2), com um valor médio de $+1.68 \text{ W m}^{-2}$, “bigodes” entre 1.33 e 2.03 W m^{-2} , seguido do metano (CH_4), $+0.97 \text{ W m}^{-2}$ (entre 0.74 e 1.20), hidrocarbonetos halogenados⁽²⁰⁾ e óxidos de azoto (N_2O).

Nos gases de vida mais curta e aerossóis, o monóxido de carbono (CO , altamente tóxico) e os NMVOC (compostos orgânicos voláteis não metano) têm pequenos contributos positivos, excepto os óxidos de azoto (NO_x), resultantes da reacção entre azoto e oxigénio durante a queima de combustíveis), que têm um ligeiro contributo negativo (-0.15 W m^{-2}). No mesmo sentido, diminuição da energia, estão os aerossóis e precursores: as poeiras minerais, sulfatos, nitratos, carbono orgânico e carbono negro (“fuligem” da queima de combustíveis), contribuindo no seu total com -0.27 W m^{-2} , a que se junta o efeito das nuvens, ajustado para os aerossóis (-0.55 W m^{-2} , mas com uma amplitude grande de valores, embora sempre negativos -1.33 a -0.05).

Por último, os efeitos do aumento de albedo (antrópico), por via das mudanças de uso do solo, que contribui para uma diminuição de 0.15 W m^{-2} e um aumento mínimo (0.05 W m^{-2}) em função das mudanças na radiação solar, o único factor natural com amplitude suficiente para aparecer nesta tabela. Embora estes valores tenham diferentes graus de confiança (última coluna à direita), os mais significativos têm um grau muito alto ou alto. Se virmos os valores totais de acréscimo, na parte inferior da tabela, para 1950, 1980 e 2011, percebemos como este aumento “físico” se repercute, correlacionado quase na perfeição, com os aumentos registados e medidos de temperatura global.

Sendo claro, neste ponto, o papel das actividades humanas nas alterações climáticas, através dos vários tipos de gases emitidos, sobretudo nos enormes volumes que não têm, pura e simplesmente, qualquer outra explicação ou origem possível, convém analisar vários aspectos que não se costuma abordar, ou relacionar entre si e que se prendem com a relação entre concentração destes gases na atmosfera, contribuição para o efeito de estufa, tempo de vida na atmosfera e evolução das concentrações ao longo do tempo (Figura 71, abaixo). Começando pela primeira tabela, convém não confundir a concentração com o contributo para o efeito de estufa, i.e., o metano, que tem somente uma concentração de 1.8 ppm , tem um contributo importante ($4\text{-}9\%$) e foi o que teve maior aumento desde 1750 (terceira tabela, 151.7 a 170.4% de aumento).

²⁰ - <https://en.wikipedia.org/wiki/Halocarbon>

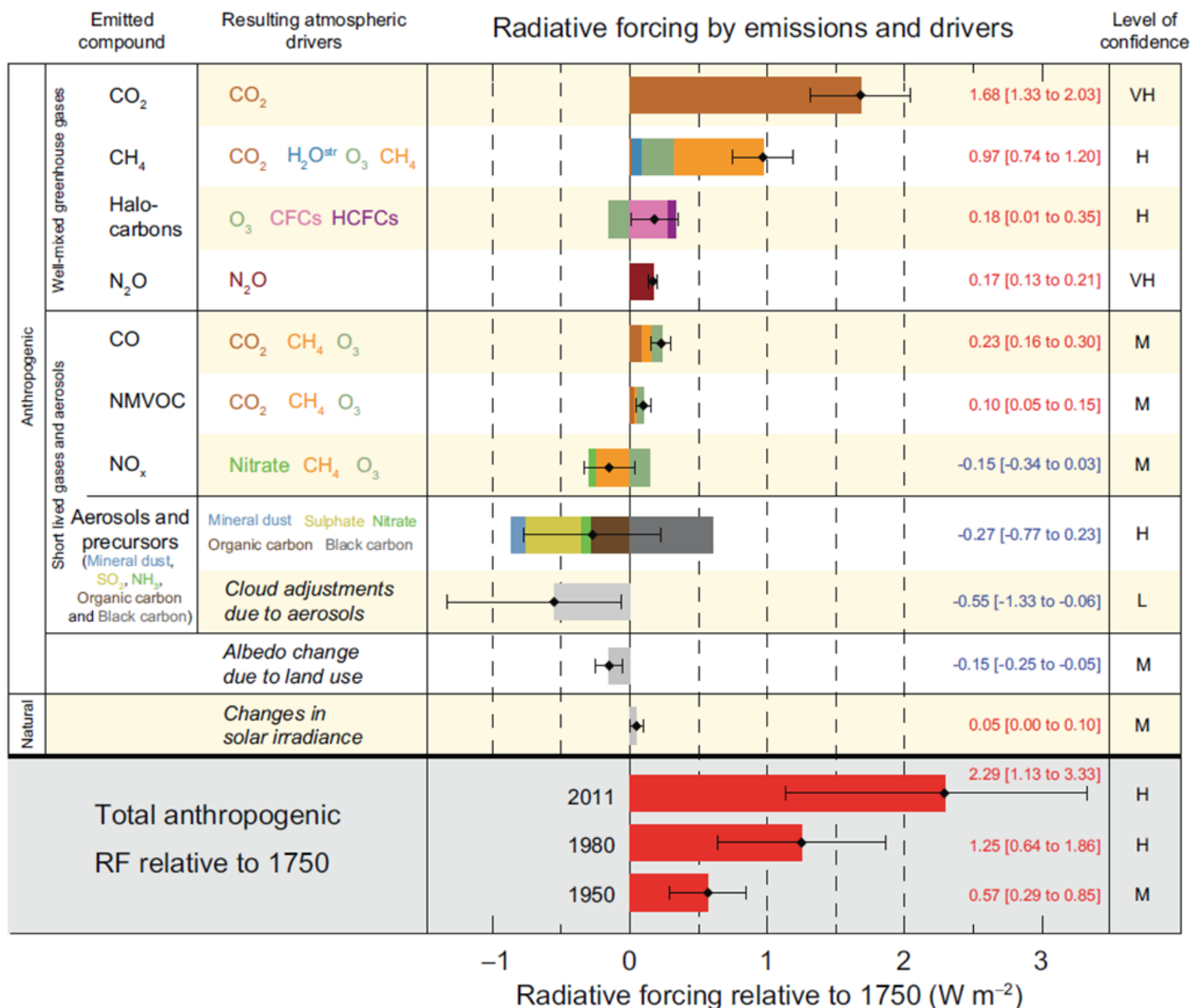


Figura 70 – “Forçamento” radiativo, emissões e indicadores, em energia por unidade de superfície (W m⁻²).

Fonte: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

O vapor de água e nuvens, com o maior contributo (36-72%), tem uma enorme concentração, mas muito variável através do globo, sendo a sua concentração controlada pela temperatura e não o contrário, como anteriormente referido. O dióxido de carbono, com 41.2 % de aumento desde 1750, contribui com 9-26% e praticamente todo o seu aumento é de origem antrópica, mas é o que promove um maior aumento de energia por unidade de superfície (1.88 W m⁻², tabela em baixo). Mas, um dos aspectos de que não se fala muito, é o tempo de vida destes gases e a seu GWP (*Global Warming Potential*, potencial de aquecimento global, segunda tabela).

Tendo o dióxido de carbono como unidade de GWP (valor é igual a 1 para o CO₂), pode ver-se que alguns gases, com concentrações muito baixas, por terem tempo um tempo de vida enorme (CF₄ tem 50 mil anos), apresentam GWP's enormes em longos horizontes temporais (30, 100 e 500 anos). O valor baixo de CO₂, apesar do tempo de vida entre 30 e 95 anos, resulta de fazer parte do ciclo de carbono natural, sendo produzido e absorvido por processos naturais, comparando com o metano, que tem um tempo de vida baixo, 12 anos, o seu GWP a 20 anos é 84, que representa 84 vezes mais do que o dióxido de carbono. Passa-se o mesmo com outros compostos, que existem em concentrações baixíssimas, mas que fazem parte das emissões humanas e que, pela sua persistência, têm e terão um papel importante no aquecimento global.

Compound	Formula	Concentration in atmosphere ^[26] (ppm)	Contribution (%)
Water vapor and clouds	H ₂ O	10–50,000 ^(A)	36–72%
Carbon dioxide	CO ₂	~400	9–26%
Methane	CH ₄	~1.8	4–9%
Ozone	O ₃	2–8 ^(B)	3–7%

notes:

(A) Water vapor strongly varies locally^[27]

(B) The concentration in stratosphere. About 90% of the ozone in Earth's atmosphere is contained in the stratosphere.

Atmospheric lifetime and GWP relative to CO₂ at different time horizon for various greenhouse gases

Gas name	Chemical formula	Lifetime (years) ^[23]	Global warming potential (GWP) for given time horizon		
			20-yr ^[23]	100-yr ^[23]	500-yr ^[40]
Carbon dioxide	CO ₂	30–95	1	1	1
Methane	CH ₄	12	84	28	7.6
Nitrous oxide	N ₂ O	121	264	265	153
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	10 800	10 200	5 200
HCFC-22	CHClF ₂	12	5 280	1 760	549
Tetrafluoromethane	CF ₄	50 000	4 880	6 630	11 200
Hexafluoroethane	C ₂ F ₆	10 000	8 210	11 100	18 200
Sulfur hexafluoride	SF ₆	3 200	17 500	23 500	32 600
Nitrogen trifluoride	NF ₃	500	12 800	16 100	20 700

Current greenhouse gas concentrations^[50]

Gas	Pre-1750 tropospheric concentration ^[51]	Recent tropospheric concentration ^[52]	Absolute increase since 1750	Percentage increase since 1750	Increased radiative forcing (W/m ²) ^[53]
Carbon dioxide (CO ₂)	280 ppm ^[54]	395.4 ppm ^[55]	115.4 ppm	41.2%	1.88
Methane (CH ₄)	700 ppb ^[56]	1893 ppb ^{[57][58]} 1762 ppb ^[57]	1193 ppb / 1062 ppb	170.4% / 151.7%	0.49
Nitrous oxide (N ₂ O)	270 ppb ^{[53][59]}	326 ppb ^[57] 324 ppb ^[57]	56 ppb / 54 ppb	20.7% / 20.0%	0.17
Tropospheric ozone (O ₃)	237 ppb ^[51]	337 ppb ^[51]	100 ppb	42%	0.4 ^[60]

Figura 71 – Gases de efeito de estufa, concentrações na atmosfera, contributo para o aquecimento global, tempo de vida e potencial de aquecimento a vários horizontes, evolução das concentrações.

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_gas#Greenhouse_gases

Dados

Tendo no ponto anterior estabelecido as relações causa-efeito, discriminadas por gases, entre emissões humanas, factores naturais e aquecimento global, tanto a nível de concentrações como do aumento de energia "retida" pelo efeito de estufa amplificado, convém passar à análise das fontes destas emissões, da sua evolução temporal, dos seus tipos e distribuição geográfica. Convém "complicar" a análise, para se perceber os vários aspectos, que se complementam, que não podem ser analisados separadamente, que ajudam a perceber que as únicas soluções possíveis para o problema são de conjunto, abrangentes e globais.

O gráfico (Figura 72, abaixo), representa a fracção relativa de gases antropogénicos, por cada uma das oito categorias de fontes, estimados para 2000: em cima o total de gases (72% de CO₂, 18% de CH₄ e 9% de N₂O), em baixo os sectores responsáveis pela emissão de cada um dos gases. Começando pelos valores globais, há vários aspectos que sobressaem: produção de energia domina, seguida de processos industriais e combustíveis de transporte (perfazendo 52.1 % do total); mas há outros sectores de que não se fala tanto, os subprodutos da agricultura, a prospecção, exploração, processamento e distribuição dos próprios combustíveis fósseis (se adicionado ao total anterior, atinge-se 63.4 % do total), fontes residenciais, comerciais e outras, bem como mudanças de uso do solo e queima de biomassa e, ainda, tratamento e deposição de resíduos.

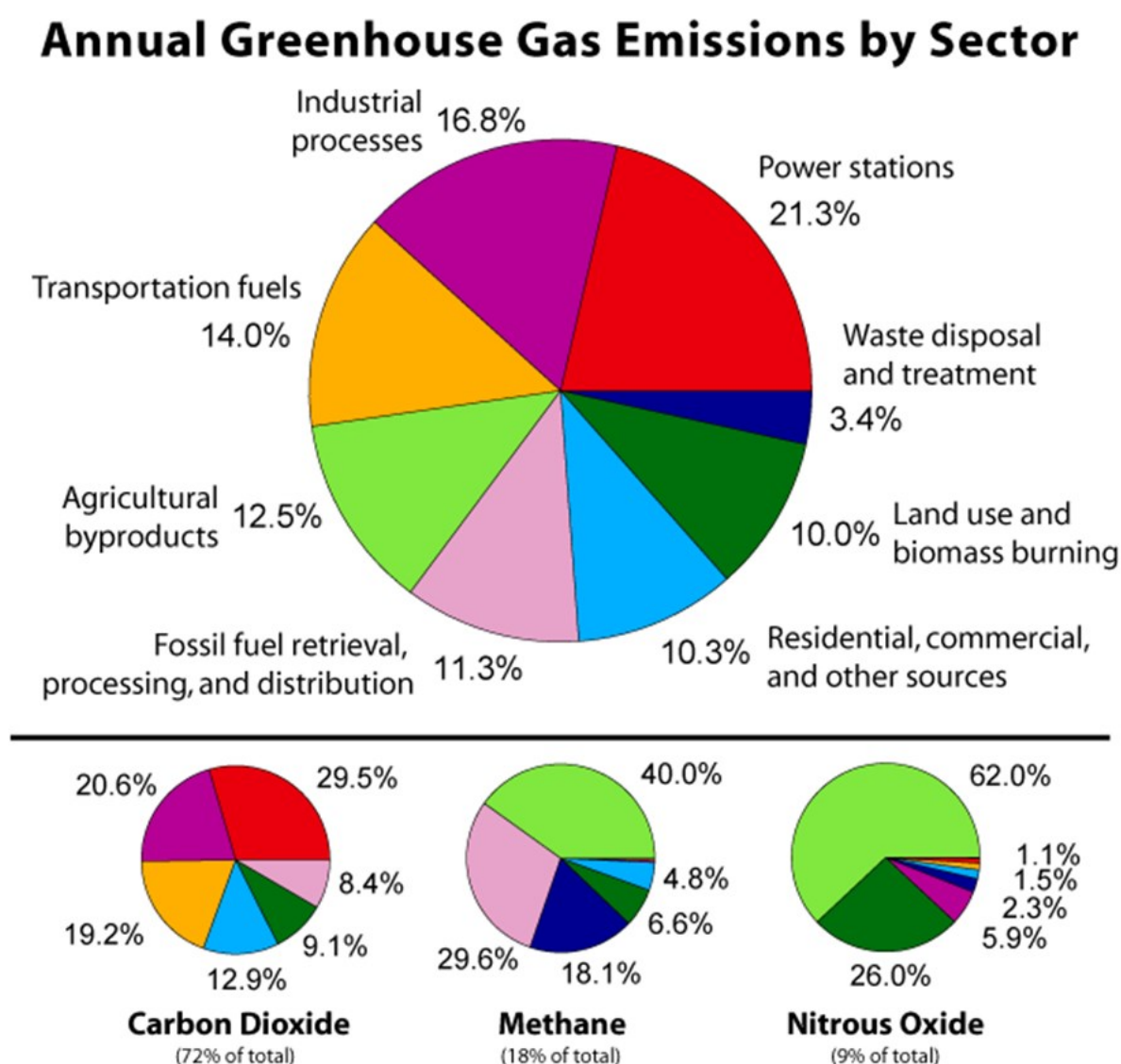


Figura 72 – Emissões anuais de gases de efeito de estufa por sector, 2000.

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Greenhouse_Gas_by_Sector.png

O que quer isto dizer? Seremos todos vegan não resolve o problema, os carros serem todos eléctricos também não, a produção de energia ser toda renovável, também não, etc., etc., etc. A abordagem terá de ser integrada, em conjunto, em todas as frentes. Mas, analisando gás a gás, há diferenças importantes, que, no entanto, têm de ser enquadradas e relativizadas em função das concentrações de cada gás, da sua evolução recente, do seu potencial de efeito de estufa, da sua persistência na atmosfera.

Assim, olhado especificamente para o CO₂, sectorograma à esquerda, que representa 72% do total de emissões e aumentou 40% desde 1750, em função da actividade humana, 63.4 % da emissão vem da produção de energia, processos industriais, combustíveis de transporte e sua exploração. Portanto, para reduzir as emissões de CO₂, tem obrigatoriamente de se apostar nas energias renováveis, descarbonização das actividades económicas e revolução nos transportes (electrificação dos transportes, alternativas verdes para a indústria, eólicas, solar, etc.), sem isso o impacto é insignificante. Note-se que, em termos de CO₂, o peso da agricultura é inferior a 1% (por isso não aparece no gráfico) e as mudanças de uso do solo e queima de biomassa "só" pesam 9.1%.

Analisando o metano, sectorograma ao meio, que representa 18% do total, mas tem um potencial de contribuição para o aquecimento global muito maior (84 vezes a 20 anos), embora com muito menores concentrações, 40 % resulta de emissões ligadas à agricultura (pecuária claramente, mas também a menos referida agricultura alagada, i.e., arrozais), seguido da prospecção, exploração e transporte de combustíveis e da recolha e deposição de lixo (é lembrar os tubos, por onde o metano libertado dos aterros sanitários é queimado). Estas três fontes perfazem 87.7 % das emissões de metano, portanto, neste caso, as soluções têm obrigatoriamente de passar pela agricultura, pecuária (ser vegan ou vegetariano, aqui e a esta escala, ajudaria) e alternativas aos combustíveis fósseis.

Um grande problema do metano, que não aparece nesta análise, porque não é emitido directamente por actividades humanas, é a grande quantidade libertada do *permafrost* ⁽²¹⁾, nas altas latitudes do hemisfério Norte, em função do próprio aquecimento global, mas isso é outra história, de *feedback* positivo brutal e emissão indirectamente de origem antrópica, a que se voltará adiante.

Por último, quanto aos óxidos de azoto, sectorograma à direita, que constituem 9 % do total de emissões, contribuindo com 0.17 W m⁻², mas com um tempo de vida de 121 e um GWP de 264 a 20 anos (264 vezes mais que o CO₂), 62 % das emissões está ligada à agricultura, 26 % ao uso do solo e queima de biomassa (totalizando ambas as fontes 88 % do total de N₂O). Neste caso, qualquer mudança e diminuição das emissões, não parece ser possível sem alterações da dieta global.

Analisando a evolução das emissões, por sectores, a nível global, entre 1990 e 2017 (Figura 73, abaixo), há vários aspectos com interesse: por um lado, no gráfico, relaciona-se a emissão (eixo Y1, à esquerda) em volume (megatoneladas CO₂ ano), com a relativização *per capita* (eixo Y2, à direita), por ano, por 1000 USD de PIB, como se pode ver na tabela abaixo do gráfico, para 1990, 2005 e 2017, as emissões aumentam em volume, aumentam *per capita* (linha a preto, no gráfico), mas o volume de CO₂ por 1000 USD de produto diminui (linha a vermelho, no gráfico). Pessoalmente gostaria de acreditar que era um bom sinal, mas penso que terá muito mais a ver com a terciarização da economia, "financeirização" ⁽²²⁾, etc.

O outro aspecto, mais visível, é o peso dos sectores responsáveis pelas emissões (energia, transportes, indústria), o seu crescimento continuado e sustentado e o seu aumento em dois períodos (parte inferior da figura): analisando entre 1990 e 2017 (à esquerda), as emissões para produção de energia crescem 81%, combustão para a indústria 59%, transporte 70% e outros sectores 95%, ou seja, em pouco mais de um quarto de século valores enormes de crescimento. Mas se olharmos para o período 2005 a 2017, parece (parece...) haver progressos, pois as taxas de crescimento abrandam (relativamente à série total): energia cresce 24%, indústria 28 %, transporte 21%, outros sectores 40% e o sector residencial, esse, aumenta 3% em vez de 1%. Será que estes dados já reflectem o esforço a nível das energias alternativas? Electrificação da mobilidade? Descarbonização dos processos industriais? Gostaria de acreditar que sim.

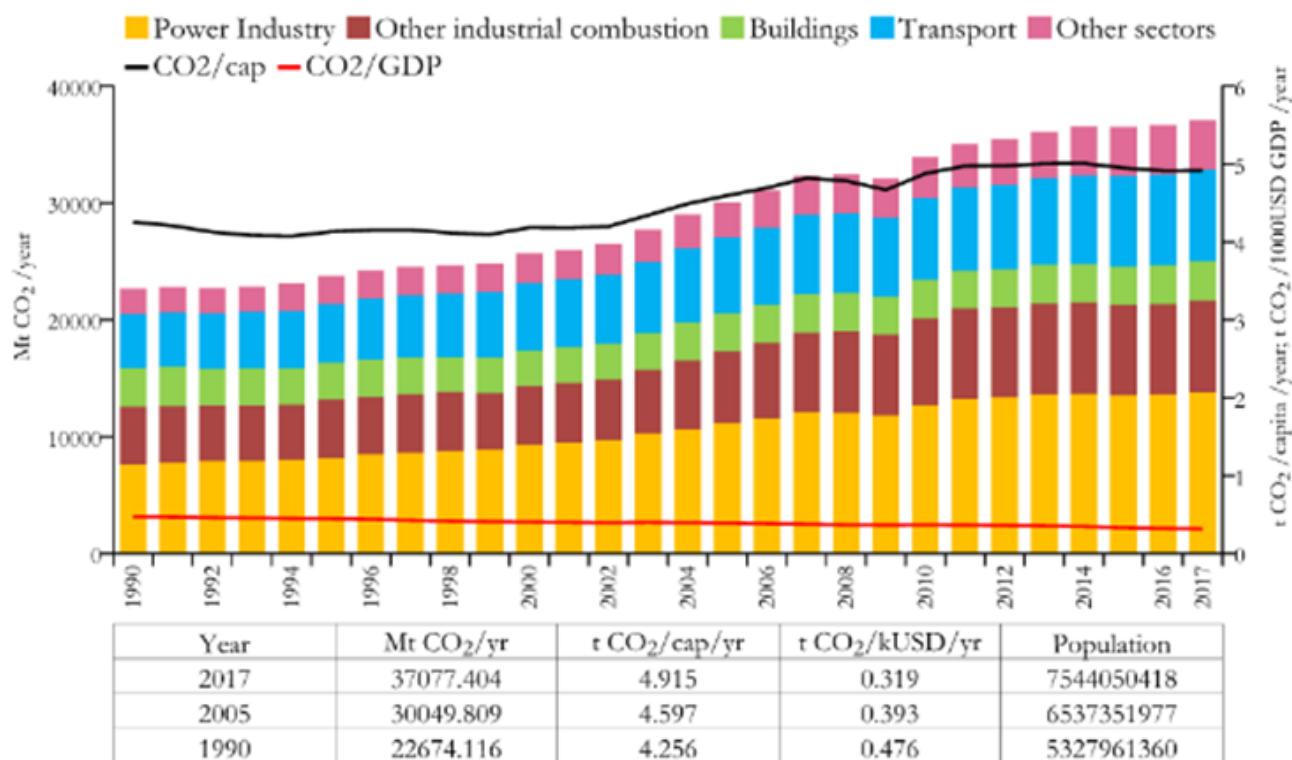
Haveria muito mais dados e informação a apresentar, analisar, tratar, sobre os quais reflectir, mas o objectivo principal parece atingido, apresentar informação, dados, sobre as diferentes fontes de emissão antrópicas, o seu peso absoluto e relativo. Convém esmiuçar a análise ainda um pouco mais, para se entender como, descendo a uma escala de mais pormenor, os vários sectores que emitem gases de efeito de estufa se podem dividir em bastantes mais categorias, por gases principais emitidos (Figura 74, abaixo). Começando pelo sector da energia, num primeiro nível, a produção de electricidade e calor representa 24.9%, seguido da indústria, 14.7% e dos transportes, 13.3%, havendo ainda 8.6% de outras queimas de combustível.

Descendo de nível, no sector, percebe-se que o uso/actividade final tem vários subsectores, começando pelo transporte, de facto, o terrestre representa 10.5% das emissões, seguido da ferrovia, transporte marítimo e outros, 2.5%, emitindo exclusivamente CO₂. No caso da produção de energia, o peso do uso residencial e comercial é de 10.2 e 6.3%, respectivamente. Sem querer tornar o texto complicado, massudo, ou aprofundar demasiado, convém chamar a atenção para a quantidade de aspectos interessantes, pouco abordados ou explorados que esta infografia permite.

²¹ - <https://en.wikipedia.org/wiki/Permafrost>

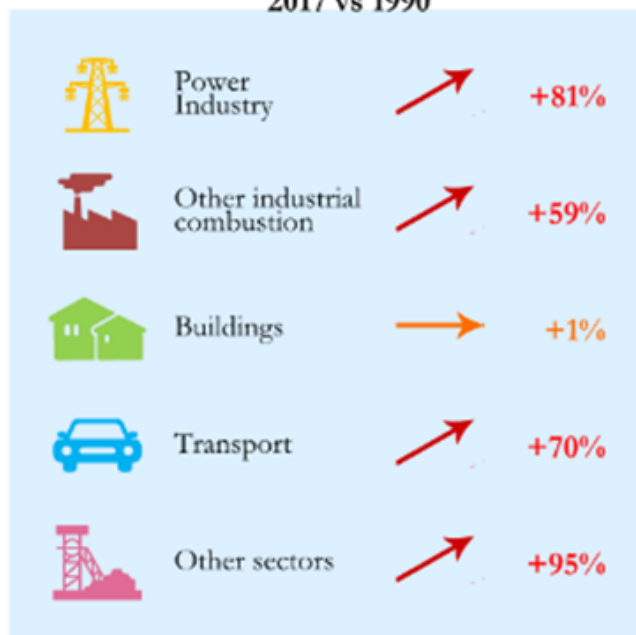
²² - <https://en.wikipedia.org/wiki/Financialization>

Fossil CO₂ emissions by sector



EDGAR

2017 vs 1990



2017 vs 2005

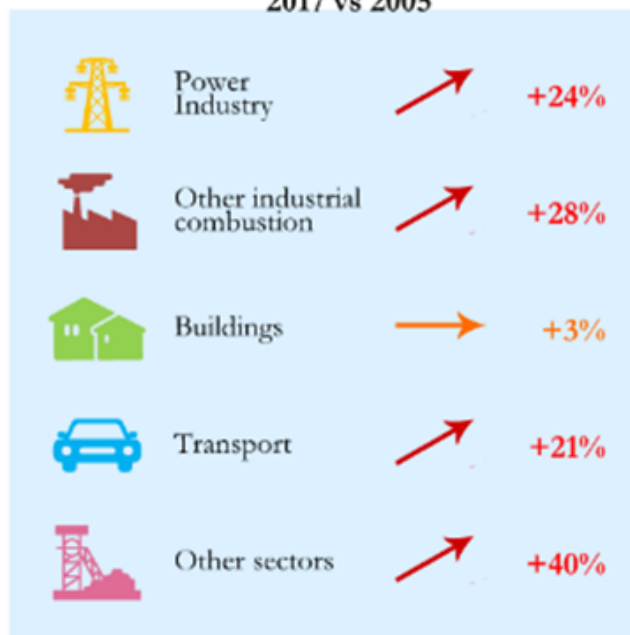


Figura 73 – Emissões de CO₂ fóssil, por sector, a nível mundial, 1990 – 2017.

Fonte: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=booklet2018>

Invertendo a análise, neste caso olhando, exclusivamente, para um tipo de gás, o metano, pode-se ver que os dados confirmam a informação anterior, quanto ao peso do sector energético, nomeadamente extracção, refinação e processamento, ou da importância e peso da pecuária e estrume (5.4% no total dos gases), mas com uma enorme proporção no metano (também óxidos de azoto), os arrozais aparecem, bem identificados e responsáveis por 1.5% das emissões, neste caso metano, ou como, nas mudanças de uso do solo, 11.3% do total de emissões, exclusivamente CO₂, resultam da desflorestação. Portanto, esta infografia permite uma análise diferente e complementa as anteriores. Outra forma de analisar a emissão de CO₂, com uma distribuição diferente de sectores, e maior detalhe, pode ser vista na Figura 75, abaixo.

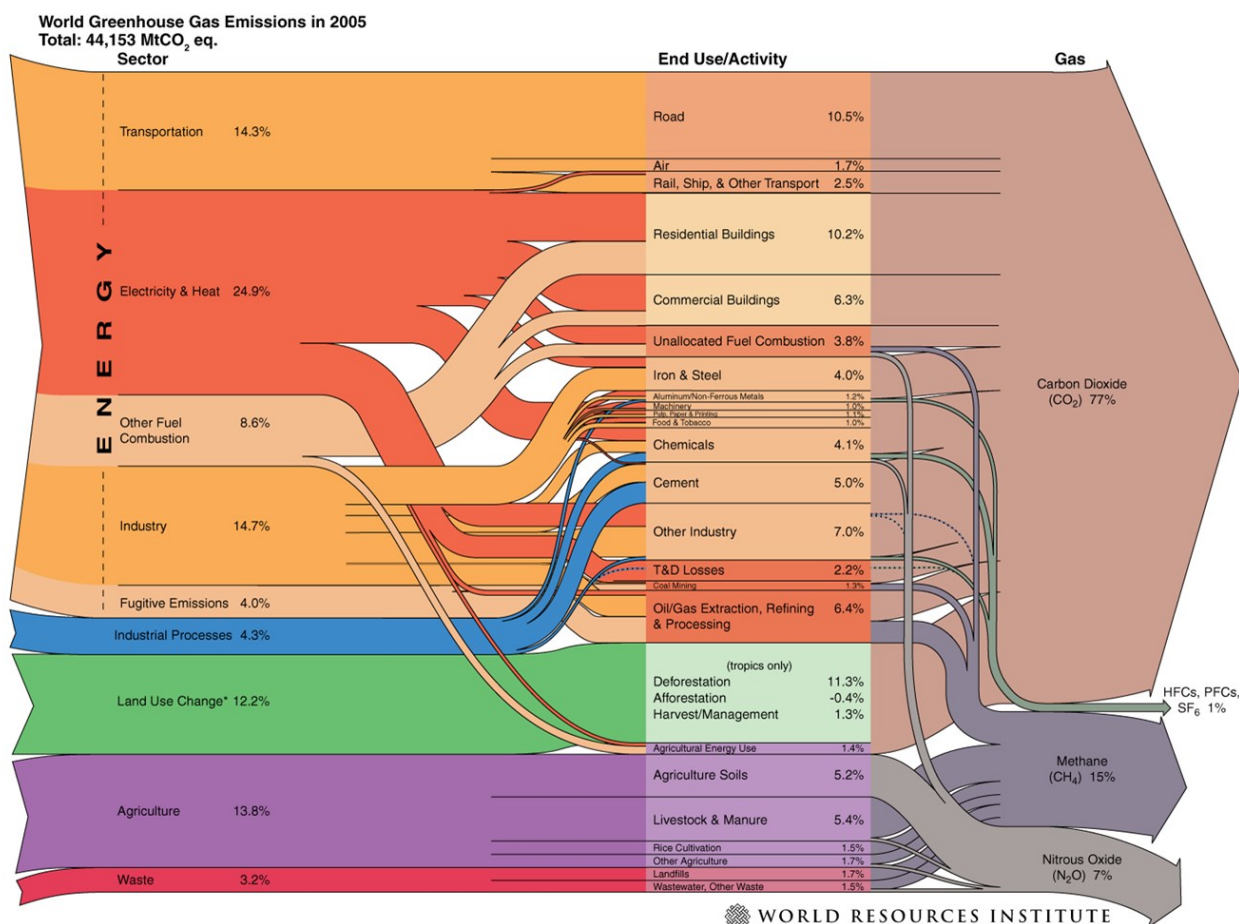
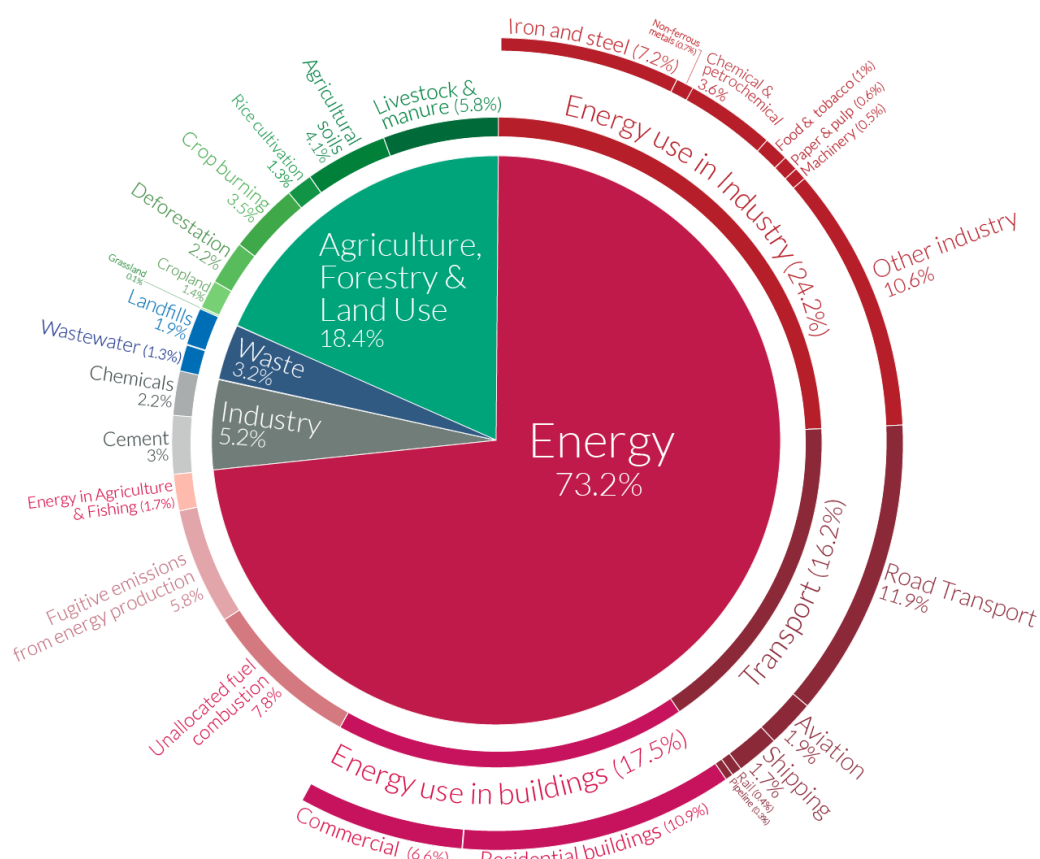


Figura 74 – Emissões de gases de efeito de estufa em 2005, valores absolutos por sector.

Fonte: https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/world_ghg_flow_chart_2005.png



OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020).

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

Figura 75 – Emissões globais de CO₂, por sector, 2016.

Fonte: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

Por último, para continuar a apresentar mais alguma informação quanto às emissões de CO₂, mas diferenciadas por tipo de combustível, o que ajuda a perceber o peso, real, *per capita*, nos principais países emissores de CO₂, das várias fontes de emissão: carvão, petróleo, gás, produção de cimento e queima de gás (nos poços), Figuras 76, 77 e 78. Nas emissões por tipo de combustível, o carvão tem um peso enorme, é exclusivo no início, depois o petróleo assume mais importância, e o gás constitui, digamos, um último ciclo. Analisando as emissões, em 2019, *per capita*, o carvão destaca-se claramente como fonte principal de emissões de CO₂. Um aspecto interessante, muito revelador, resulta da análise das emissões *per capita* dos principais países emissores, divididas por tipo de combustível (Figura 78), A Austrália é, de longe e junto com os E.U.A., o país mais emissor, com quase o dobro da Alemanha e com um peso enorme do carvão, que no caso da África do Sul tem uma carga máxima nas emissões, tal como na China.

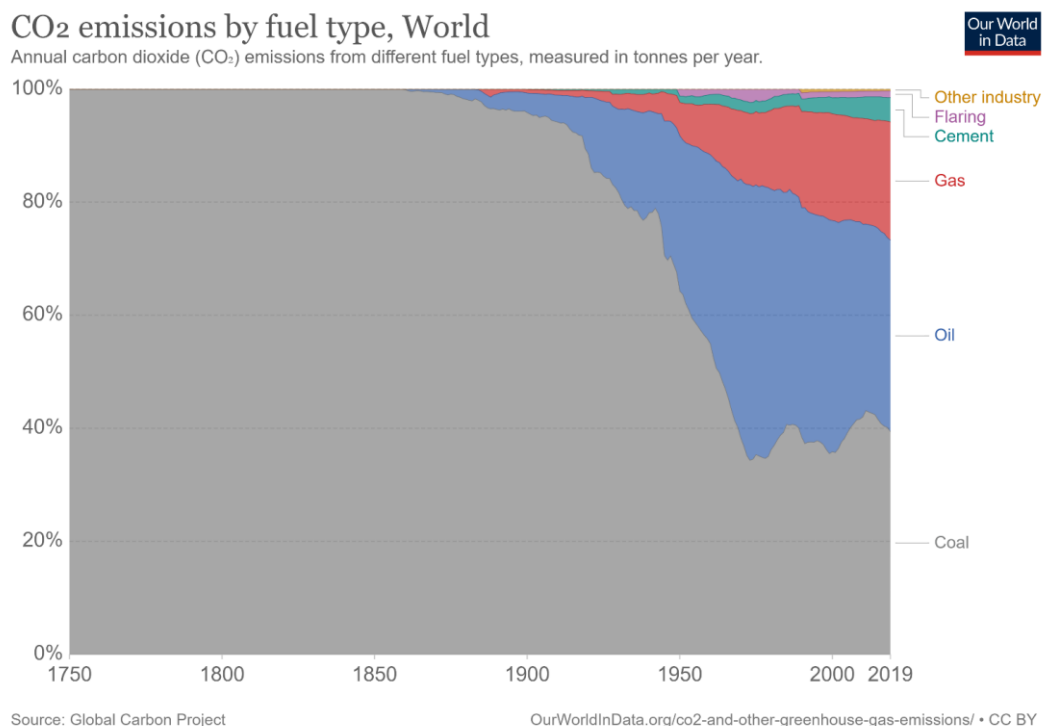


Figura 76 – Emissões globais de CO₂ por tipo de combustível, 1750-2019.
Fonte: <https://ourworldindata.org/emissions-by-fuel>

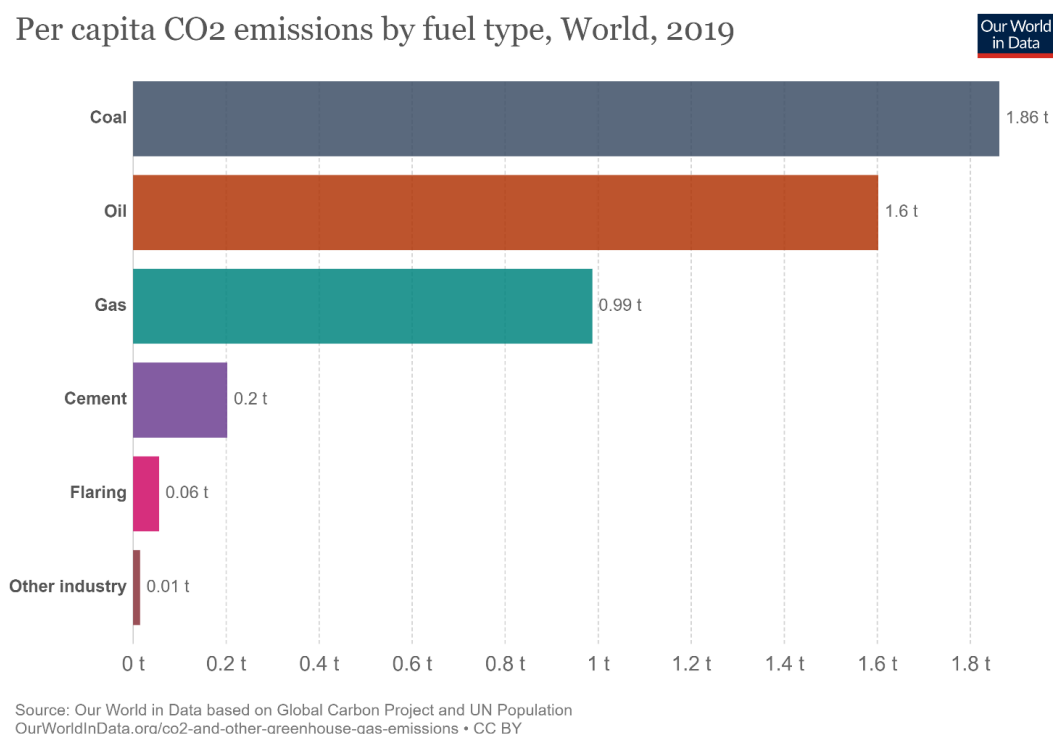
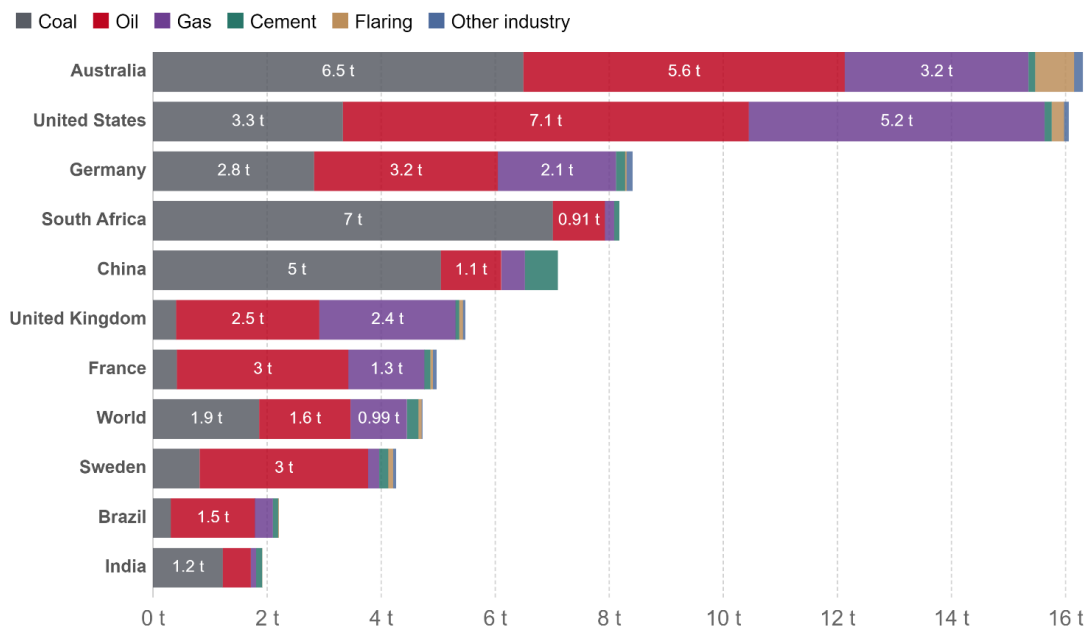


Figura 77 – Emissões globais de CO₂ por tipo de combustível, *per capita*, 2019.
Fonte: <https://ourworldindata.org/emissions-by-fuel>

Antes de terminar, alguns dados sobre Portugal, para se ter uma noção geral, do mesmo tipo de indicadores, emissão total, *per capita*, cumulativo, evolução, peso global e emissão por tipo de combustíveis, Figuras seguintes, números 79, 80, 81 e 82 (abaixo). Relembro que este texto não é, nem pretende de forma alguma, ser exaustivo, mas somente uma forma bem ilustrada, com muito material, de apoiar a abordagem às alterações climáticas, de uma forma pedagógico, coerente, sintética e que permita, durante e depois, a cada um, uma exploração e aprofundamento autónomo, recorrendo à muita (e boa) informação que existe.

Per capita CO₂ emissions by fuel type, 2019

Our World
in Data



Source: Our World in Data based on the Global Carbon Project and UN Population Prospects
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

Figura 78 – Emissões globais de CO₂, por tipo de combustível, nos principais emissores, 2019.

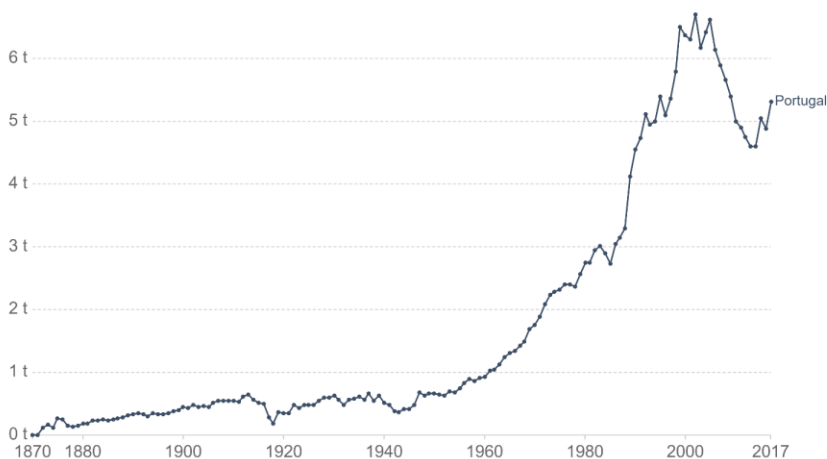
Fonte: <https://ourworldindata.org/emissions-by-fuel>

Os valores de emissão *per capita* para Portugal (Figura 79, abaixo), atingiram perto do ano 2000, valores próximos da China actual (cerca de 7 toneladas de CO₂), sendo o decréscimo no fim da série uma consequência da crise de 2008 (que também se pode ver na Figura 81, abaixo), seguida de uma retoma. Vendo o gráfico dos valores cumulativos (Figura 80, abaixo), pode-se ter noção do gigantesco volume global de emissões, estimado desde 1750. A diminuição do peso do carvão, aumento do gás natural e quebra em 2008, também é visível na Figura 82, abaixo.

Per capita CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.

Our World
in Data



Source: Our World in Data based on the Global Carbon Project; Gapminder & UN
Note: CO₂ emissions are measured on a production basis, meaning they do not correct for emissions embedded in traded goods.
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

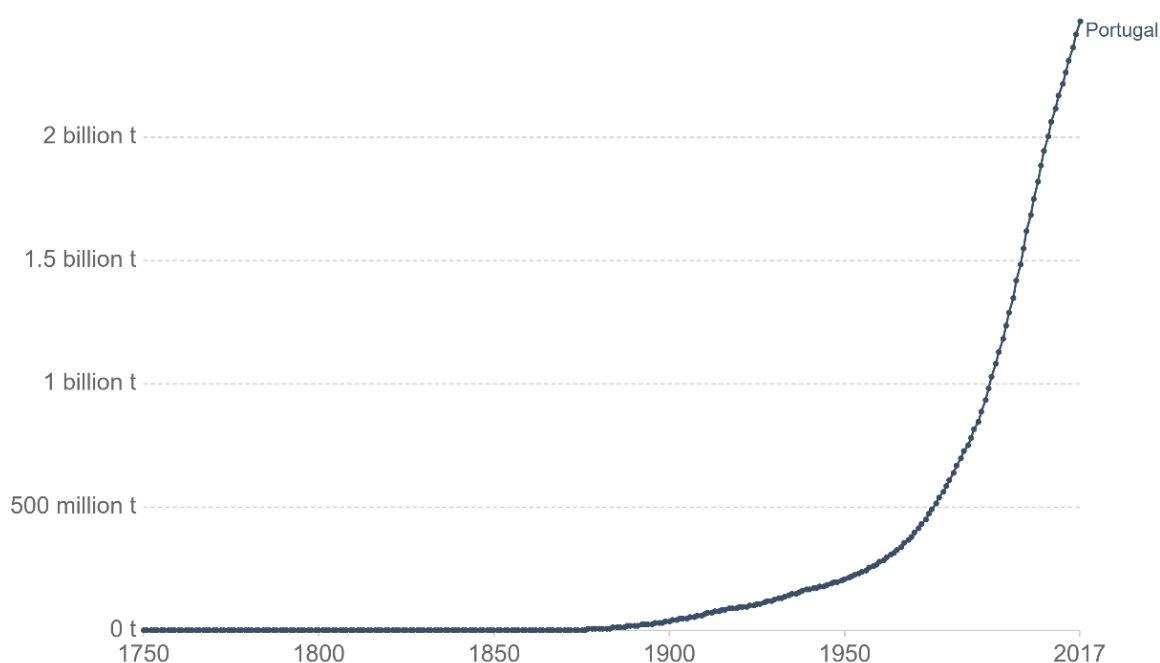
Figura 79 – Portugal, emissões *per capita* de CO₂, 1870-2017.

Fonte: <https://ourworldindata.org/co2/country/portugal>

Cumulative CO₂ emissions

Cumulative carbon dioxide (CO₂) emissions represents the total sum of CO₂ emissions produced from fossil fuels and cement since 1751, and is measured in tonnes. This measures CO₂ emissions from fossil fuels and cement production only – land use change is not included.

Our World
in Data



Source: Our World in Data based on the Global Carbon Project

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

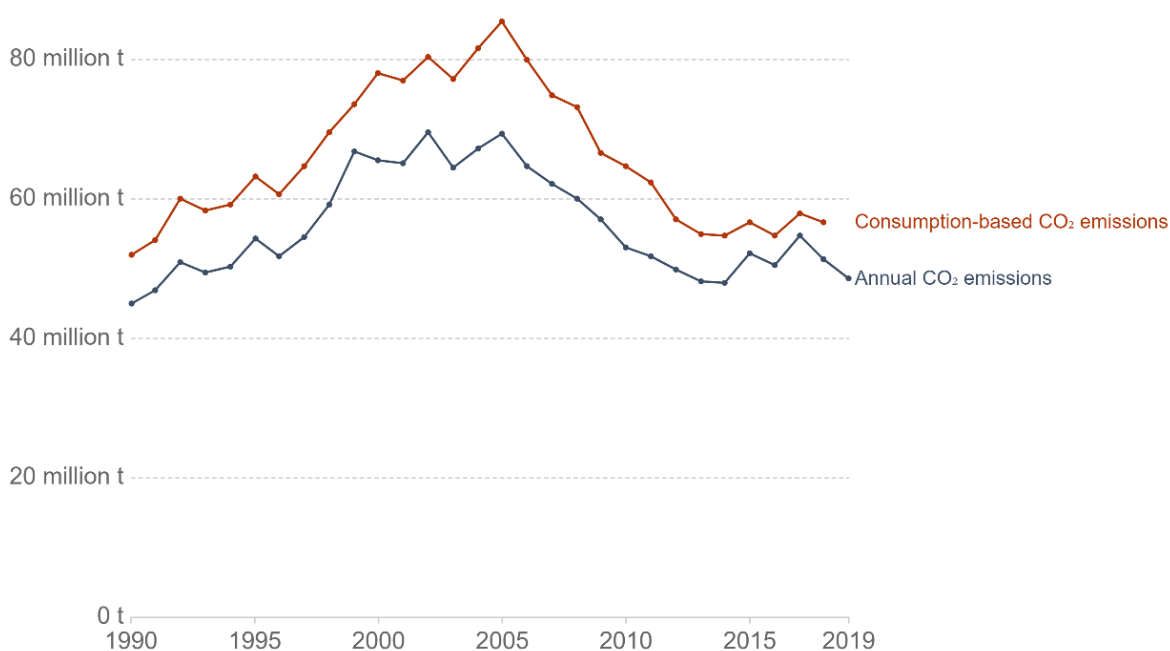
Figura 80 – Portugal, emissões cumulativas de CO₂, 1750-2017.

Fonte: <https://ourworldindata.org/co2/country/portugal>

Production vs. consumption-based CO₂ emissions, Portugal

Annual consumption-based emissions are domestic emissions adjusted for trade. If a country imports goods the CO₂ emissions needed to produce such goods are added to its domestic emissions; if it exports goods then this is subtracted.

Our World
in Data



Source: (Updated) Peters et al. (2011). Global Carbon Project.

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Note: This measures CO₂ emissions from fossil fuels and cement production only – land use change is not included.

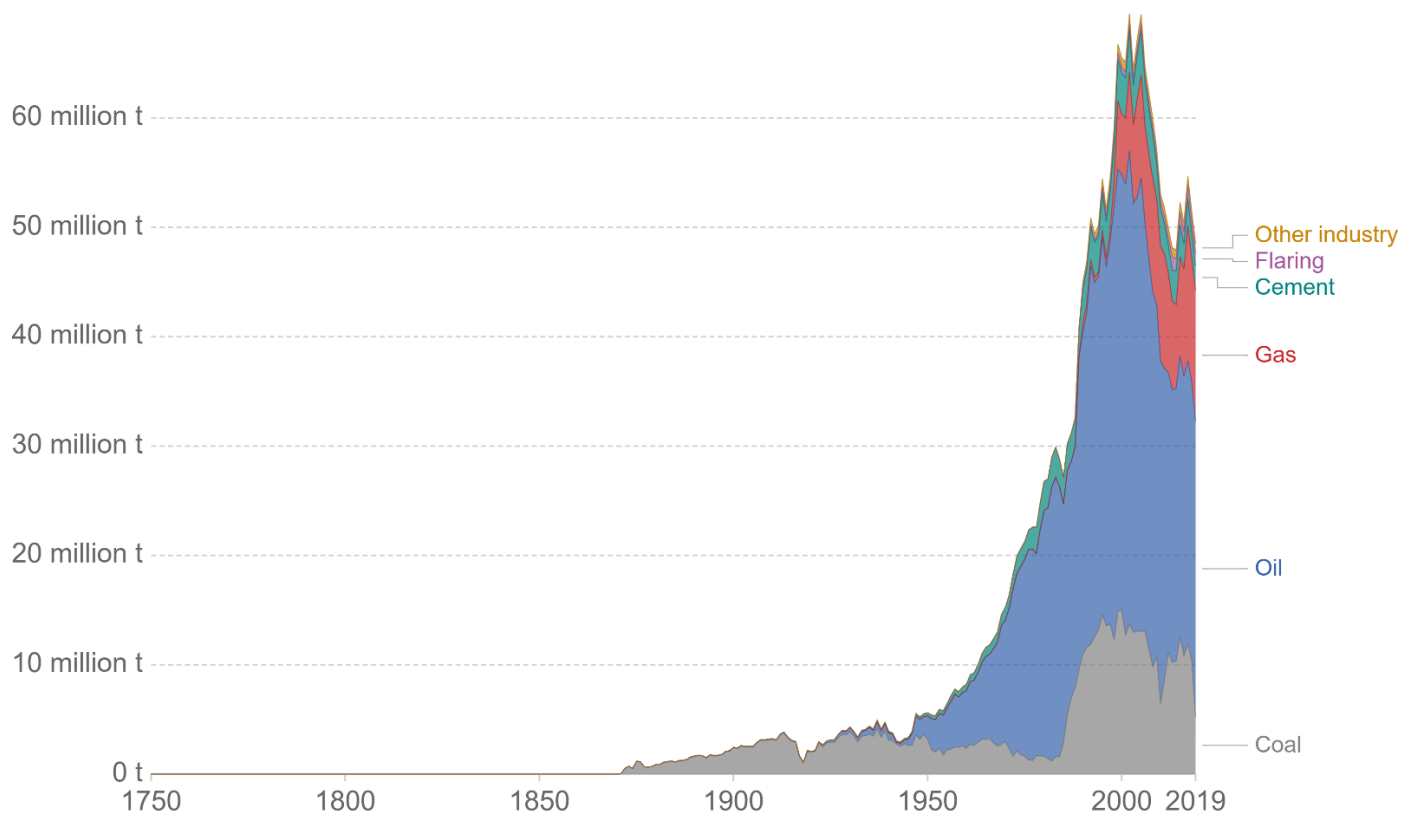
Figura 81 – Portugal, emissões de CO₂ com base em produção e consumo. 1990-2019.

Fonte: <https://ourworldindata.org/co2/country/portugal>

CO₂ emissions by fuel type, Portugal

Annual carbon dioxide (CO₂) emissions from different fuel types, measured in tonnes per year.

Our World
in Data



Source: Global Carbon Project

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Figura 82 – Portugal, emissões de CO₂ por tipo de combustível, 1750-2019.

Fonte: <https://ourworldindata.org/co2/country/portugal>

Padrões Espaciais

As alterações climáticas são globais, mas as emissões de gases de efeito de estufa não são ubíquas, actualmente e menos ainda no passado, portanto convém abordar o carácter espacial e os seus padrões actuais. Observando a Figura 83, abaixo, onde estão representadas as emissões de dióxido de carbono em 2008 (círculos proporcionais a cheio) e 2009 (círculo proporcional só com linha como limite), bem como a variação percentual e o volume total, pode-se ver claramente que existem brutais assimetrias regionais nas emissões. Apesar de 2009 ser um ano “atípico”, seguindo-se à crise financeira global de 2007-2008 ⁽²³⁾, a uma forte recessão global e abrandamento económico (embora não em todo o “lado”), vê-se claramente que há três grandes emissores: a China, 25.37% do total mundial, com uma subida de 170.6% das emissões desde 2000 e que apesar da crise regista uma subida de 13.3% entre 2008 e 2009; os E.U.A., 17.85% do total, com a crise desce 7.0%; e a Europa, 14.18% do total, com um recuso de 6.9%.

An atlas of pollution: the world in carbon dioxide emissions

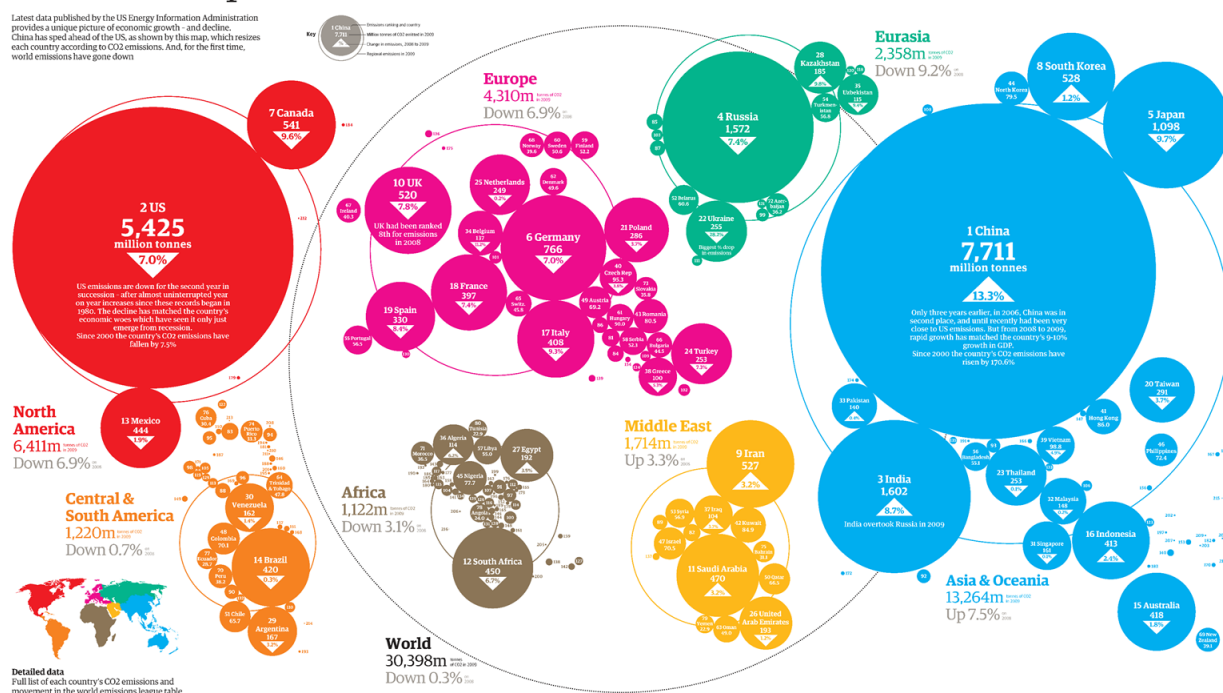


Figura 83 – Atlas da poluição: o mundo em emissões de dióxido de carbono, 2008-2009.

Fonte: <https://image.guardian.co.uk/sys-files/Guardian/documents/2011/02/10/CarbonWeb.pdf>

Mas, se considerarmos o total da Ásia e Oceânia, esta representava, em 2009, 43.63% do total de emissões de CO₂, sendo o bloco com mais países com emissões crescente, e.g. Índia, que aumenta 8.7% e ultrapassa em 2009 a Rússia, Indonésia, Coreia do Sul e, claro, a China. Toda esta região está, actualmente (excepto ou, até durante o período Covid) com crescimentos enormes, com um aumento brutal dos padrões de consumo, sendo que a China, Índia e Indonésia somam cerca de 40% da população mundial ⁽²⁴⁾. Também se pode observar a “insignificância” relativa das emissões da África, apesar de ter cerca de 17% da população mundial, e o peso da América do Sul e Central com metade dessa população. Já o peso do Médio Oriente está relacionado, sobretudo, com toda a fileira do petróleo, exploração, processamento e transporte. Estes valores globais, em termos absolutos, têm vindo a crescer, apesar dos esforços, boas vontades e intenções, nalguns blocos e países, mas não tenhamos ilusões, continuaram e continuarão a crescer.

Analisando dados mais recentes, até 2019 (Figura 84, abaixo), pode-se ver claramente este crescimento e o aumento do peso da Ásia, China e Índia, pesam 55.57% no total (20.24%, 27.93% e 7.18% respectivamente). Também é interessante verificar que, efectivamente, as emissões da Europa e EU 27, bem como as dos E.U.A. têm vindo a diminuir, em termos absolutos, certamente fruto do esforço, já em curso, de descarbonização e redução de emissões. Pode-se ver, na Figura 85, abaixo, mais claramente, os valores absolutos e respectivo peso percentual no total de emissões de CO₂, bem como os principais países emissores. Aqui há aspectos interessantes, o peso esmagador da Austrália nas emissões da Oceânia, o peso da África do Sul, Egito e Argélia e Nigéria (produtores de petróleo) no total da África, ou o do Brasil e Argentina na América do Sul. Muito interessante é o peso da aviação internacional e do transporte marítimo, que emitem 3.2% do total de CO₂ e aqui aparecem desagregados do resto, como uma entidade.

²³ - https://en.wikipedia.org/wiki/Financial_crisis_of_2007%E2%80%9932008

²⁴ - <https://www.worldometers.info/world-population/>

Annual total CO₂ emissions, by world region

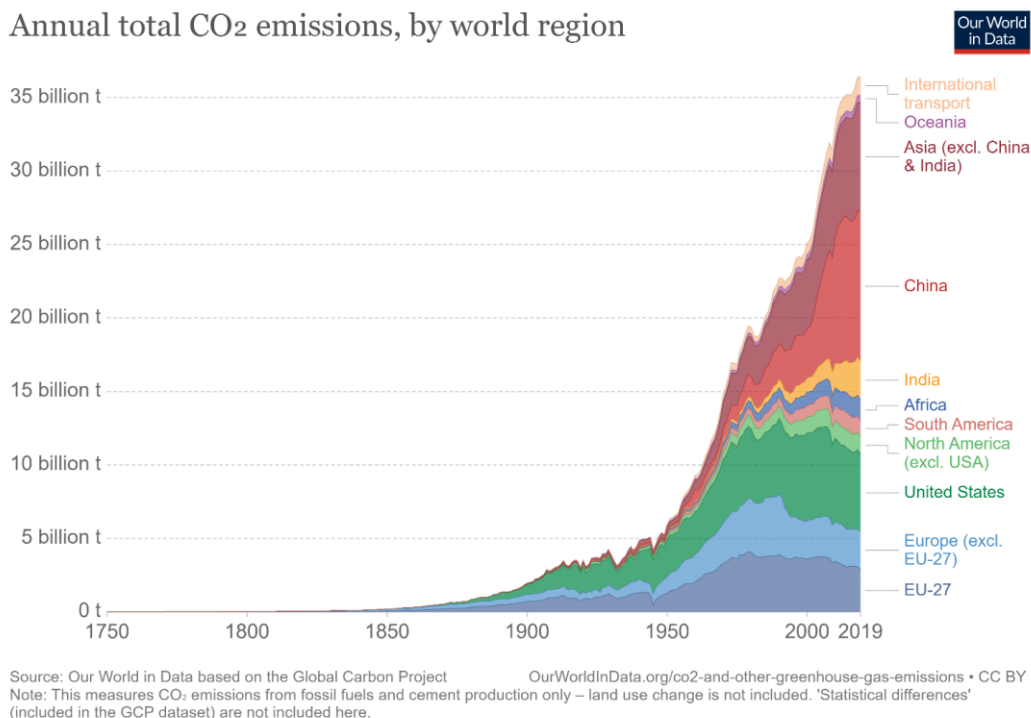
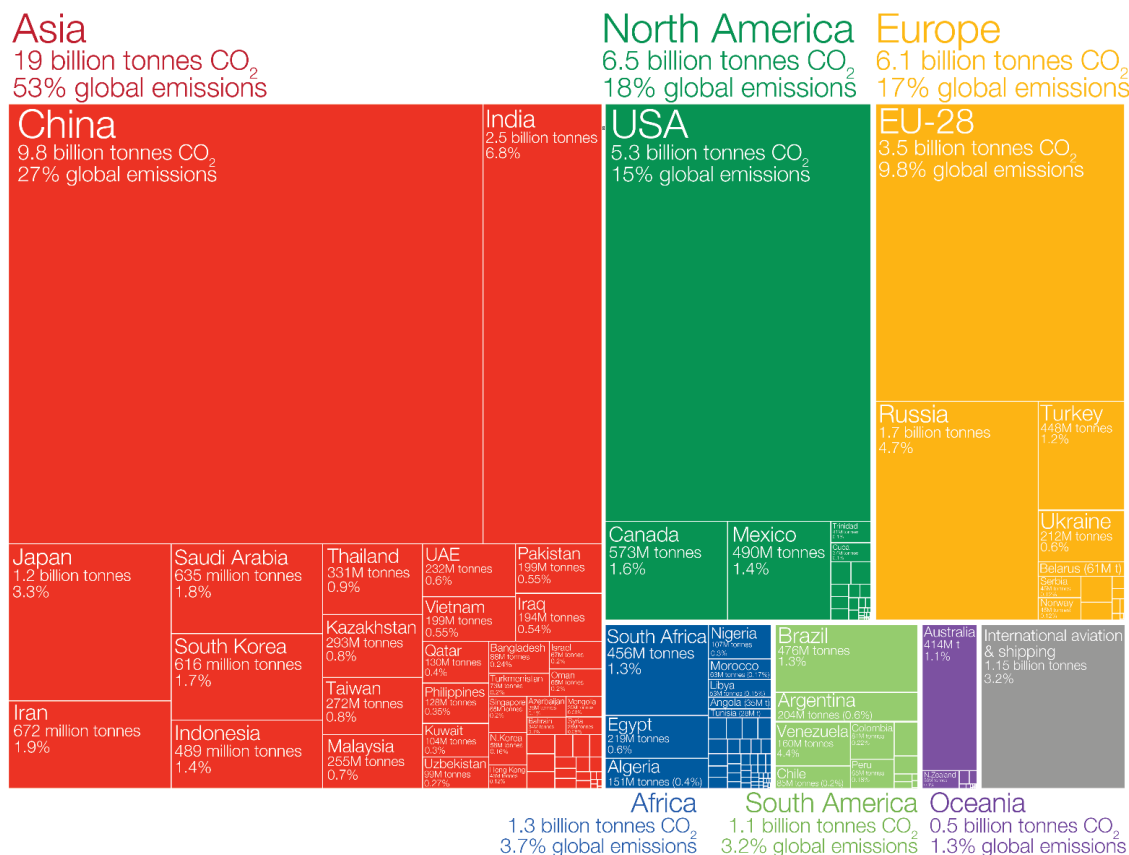


Figura 84 – Emissões totais de CO₂, por região, até 2019.

Fonte: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

Who emits the most CO₂?

Global carbon dioxide (CO₂) emissions were 36.2 billion tonnes in 2017.



Shown are national production-based emissions in 2017. Production-based emissions measure CO₂ produced domestically from fossil fuel combustion and cement, and do not adjust for emissions embedded in trade (i.e. consumption-based).

Figures for the 28 countries in the European Union have been grouped as the 'EU-28' since international targets and negotiations are typically set as a collaborative target between EU countries. Values may not sum to 100% due to rounding.

Data source: Global Carbon Project (GCP).

This is a visualization from [OurWorldInData.org](https://ourworldindata.org), where you find data and research on how the world is changing.

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.

Figura 85 – Quem emite mais CO₂, 2017.

Fonte: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

Se esta é a abordagem corrente: quem emite quanto, onde e de que forma essas emissões têm evoluído recentemente, convém analisar as emissões acumuladas, relativizadas, desde 1750 e verificar como o “ocidente” tem um peso esmagador nesse total (Figura 86, abaixo). Até ao início do Século 19 as emissões foram, quase exclusivamente, do Reino Unido, seguindo-se a Europa (EU 27) e depois os E.U.A., em 1945, 90.62% de todas as emissões de CO₂, tinham tido origem nestes países e somente na década de 1960 e 1970 a Ásia e a China ganham peso. Este facto é importante, pois o mundo e organizações globais, que esperam um modelo e tipo de crescimento económico para o resto do mundo, semelhante ao histórico ocidental, enfrentam oposição dos que, seguindo hoje esse modelo (a isso são “convidados”), “só” há meio século começaram a emitir mais, pedindo por isso mais tempo para se adaptarem. Os valores absolutos e peso percentual histórico podem ser vistos na Figura 87, abaixo.

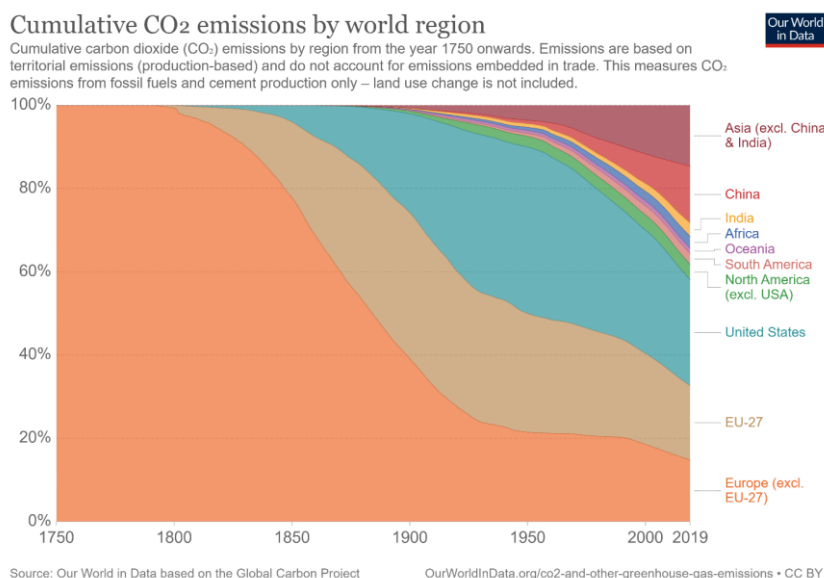


Figura 86 – Emissões acumuladas de CO₂, por região do globo, 1750-2019.

Fonte: <https://ourworldindata.org/co2-emissions?country=>

Who has contributed most to global CO₂ emissions?

Cumulative carbon dioxide (CO₂) emissions over the period from 1751 to 2017. Figures are based on production-based emissions which measure CO₂ produced domestically from fossil fuel combustion and cement, and do not correct for emissions embedded in trade (i.e. consumption-based). Emissions from international travel are not included.

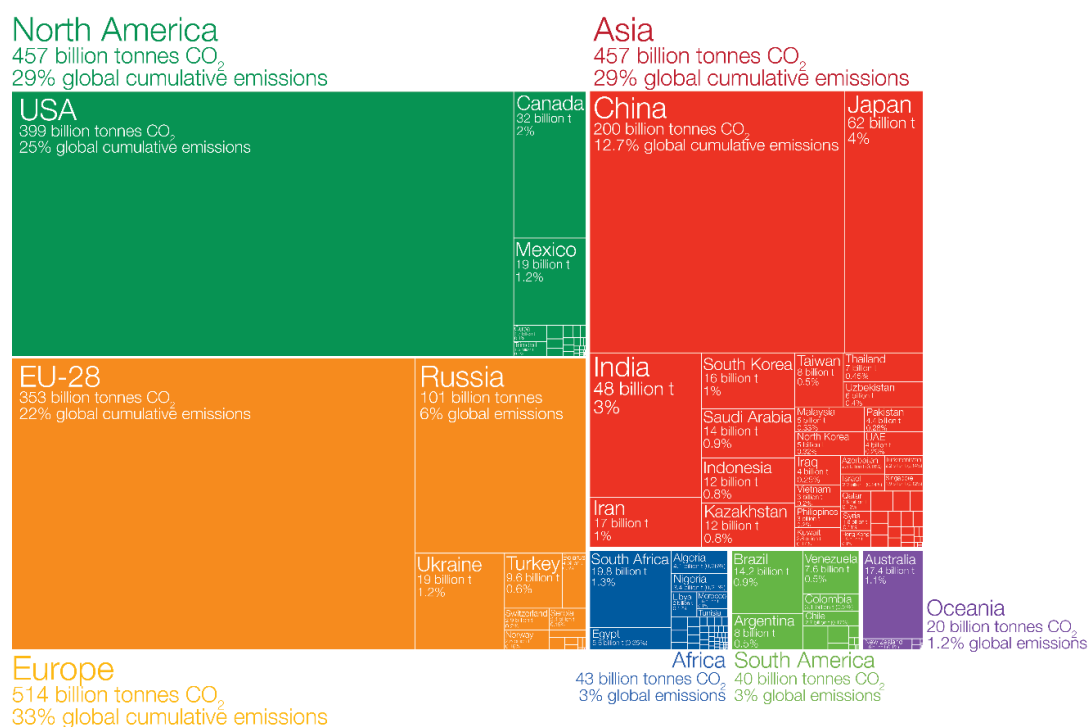


Figura 87 – Quem contribuiu mais para as emissões de CO₂, 1751-2017.

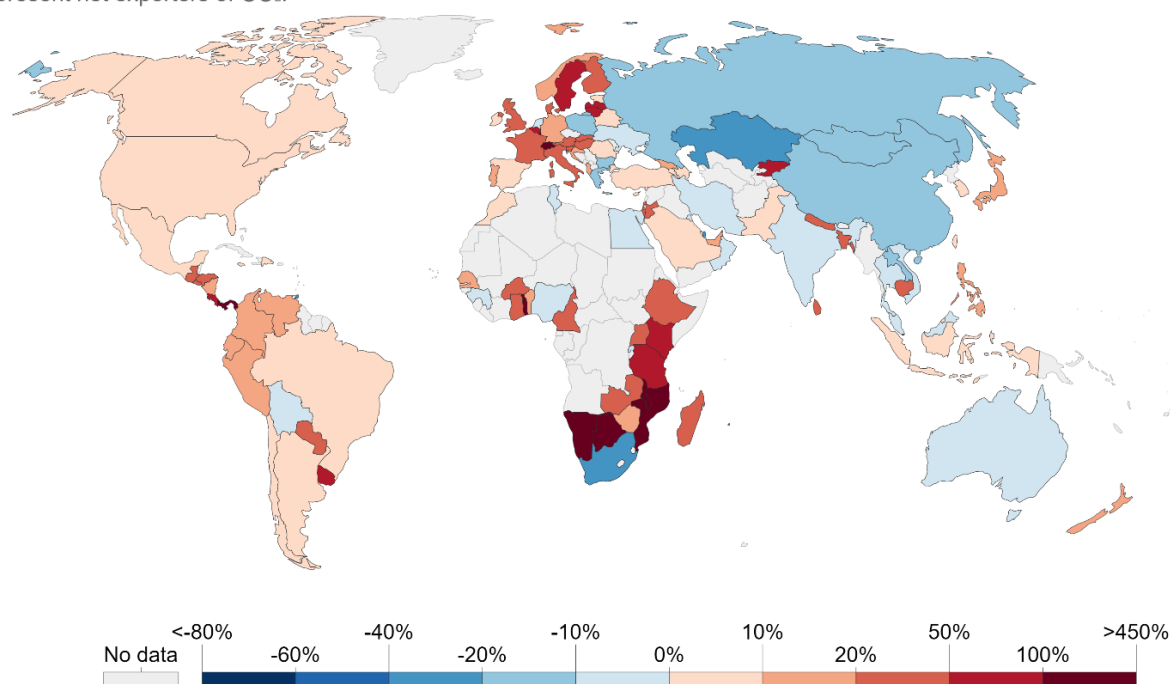
Fonte: <https://ourworldindata.org/co2-emissions?country=>

Existe ainda um aspecto interessante a acrescentar, à opção de mostrar estas diferentes abordagens, as emissões “embutidas” no comércio, ou seja, as emissões importadas (ou exportadas) enquanto percentagem do que cada país emite, i.e., um país com +20% importa emissões equivalentes a 20% das suas emissões domésticas, Figura 88, abaixo. Este indicador é muito interessante, pois revela dois extremos do problema, por exemplo um país como Moçambique, que praticamente não tem emissões, mas tendo de importar quase tudo acaba por “importar”, digamos, emissões realizadas noutros países, ou a Suécia e Suíça, que apesar de terem emissões importantes (e embora as estejam a tentar diminuir) têm padrões de consumo tão elevados, que por via das importações emitem muito (o valor da Suíça é 224.77%). No extremo oposto, países que apresentam valores negativos, aparece a Nigéria, o Qatar ou a Rússia, certamente em virtude da produção e exportação de combustíveis, ou a China, certamente pelo volume total de exportações (-10.01%).

CO₂ emissions embedded in trade

Our World
in Data

Share of carbon dioxide (CO₂) emissions embedded in trade, measured as emissions exported or imported as the percentage of domestic production emissions. Positive values (red) represent net importers of CO₂ (i.e. “20%” would mean a country imported emissions equivalent to 20% of its domestic emissions). Negative values (blue) represent net exporters of CO₂.



Source: Peters et al. (2012 updated); Global Carbon Project

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Figura 88 – Emissões de CO₂ “embutidas” no comércio, 2018.

Fonte: <https://ourworldindata.org/co2-emissions?country=>

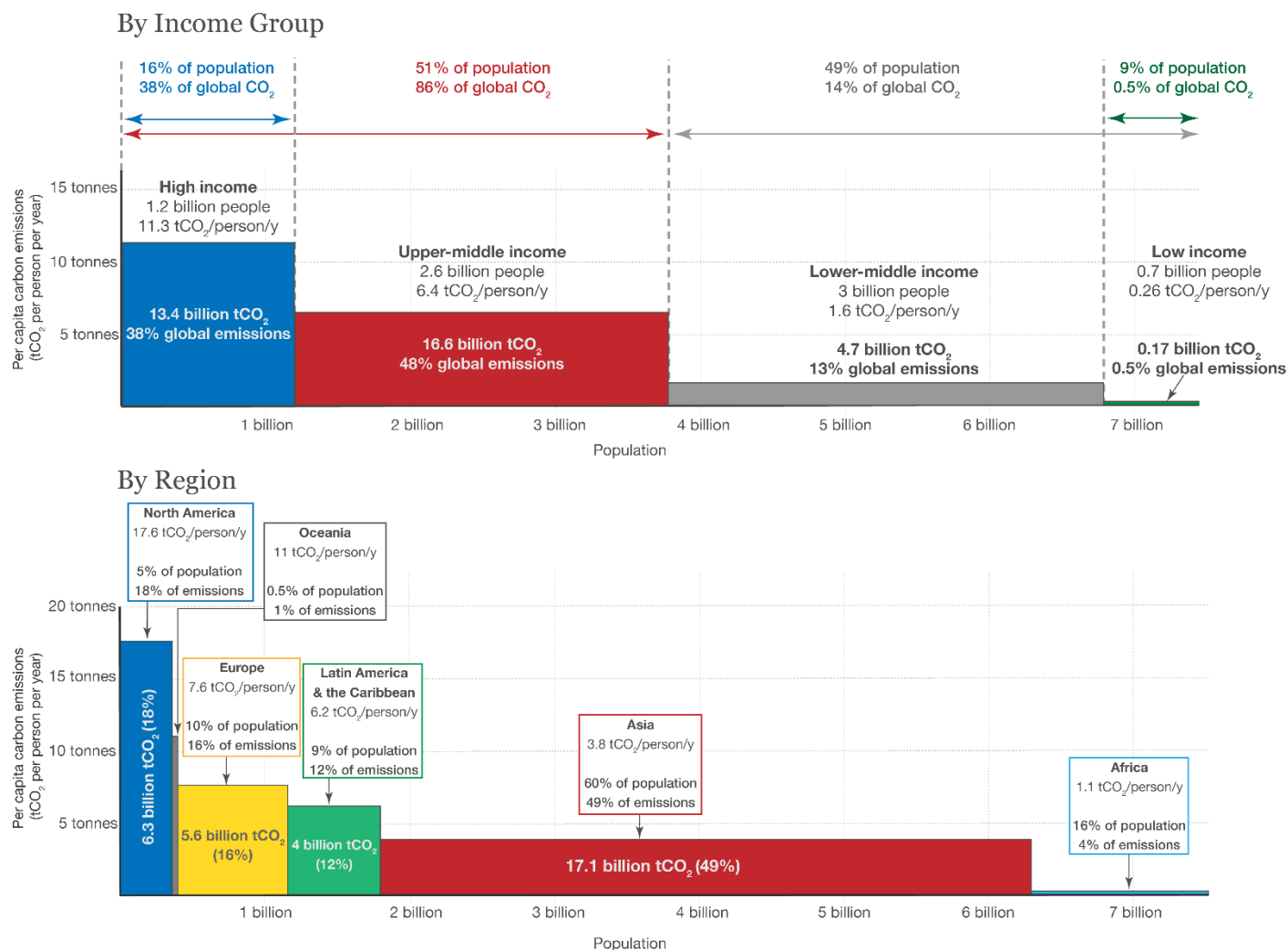
Um último aspecto, em termos de emissões de CO₂, a nível global e que acresce a esta sequência, é a questão da desigualdade, i.e., as emissões, *per capita*, tendo em conta o rendimento, região e como proporção da população mundial (Figura 89, abaixo). Os valores de emissões considerados representam a produção doméstica, sem emissões “embutidas” em produtos importados/exportados e excluem emissões transfronteiriças (como a aviação e tráfego marítimo internacionais). A desproporção e desigualdade salta à vista na análise por grupos de rendimento: a azul, 16% da população representa 28% do total de emissões de CO₂, aproximadamente 12 toneladas de CO₂, por pessoa, por ano. A vermelho, os 51% da população mundial com rendimento alto e médio alto, são responsáveis por 86% das emissões globais de CO₂, (rendimento médio-alto 48% e cerca de 7 tCO₂/pessoa/ano), o que significa que os restantes 49% representam 14% das emissões. No extremo direito, 9% da população, de mais baixo rendimento, representa somente 0.5% das emissões globais, com cerca de uma tonelada, por pessoa, por ano.

Se esta abordagem dá conta de uma enorme desigualdade, a mesma agrava-se, quando se analisam os mesmos dados, mas por região (parte inferior da Figura 89, abaixo). A azul, a América do Norte, com 5% da população, emite 18% do total de CO₂, 17.6 tCO₂/pessoa/ano, seguido da Oceânia (basicamente Austrália e Nova Zelândia), com 0.5% da população e 1% das emissões globais (11 tCO₂/pessoa/ano), depois a Europa, 10% da população, 16% das emissões, a América Latina e Caraíbas com 9% da população e 12% das emissões, 6.2 tCO₂/pessoa/ano. Somente depois aparece a Ásia, com “somente” 3.8 tCO₂/pessoa/ano, 49% das emissões, mas 60% da população mundial, seguindo-se a África, no extremo da desigualdade, com somente 4% das emissões (concentradas nalguns países), mas com 16% da população e somente 1.1 tCO₂/pessoa/ano.

Global CO₂ emissions by income and region

Breakdown of global carbon dioxide (CO₂) emissions in 2016 by World Bank income group (top) and world region (bottom). This is shown based on average per capita emissions (y-axis) and population size (x-axis), with the area of the box representing total annual emissions in 2016.

- Emissions represent domestic production (not accounting for embedded emissions in traded products), and do not include cross-boundary emissions such as international aviation & shipping.
- Aggregation by income is based on the total emissions of countries within each of the World Bank's income groupings. It reflects average national incomes rather than the distribution of incomes within countries. E.g. 'Low income' reflects the total emissions of all countries defined as low income, rather than the emissions of global individuals defined as low income. If defined on the basis of individuals (without country contexts), the global inequality would be even larger.



Source: Our World in Data based on data from the Global Carbon Project, UN Population Division (2018) & World Bank income groups. This is a visualization from [OurWorldinData.org](https://ourworldindata.org), where you find data and research on how the world is changing.

Licensed under CC-BY-SA by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

Figura 89 – Emissões globais de CO₂, em função do rendimento e por região, 2016.

Fonte: <https://ourworldindata.org/co2-emissions?country=>

Sem querer prolongar mais a análise destas várias abordagens, convém pensar o que tendencialmente acontecerá se, como tudo indica e felizmente, as condições de vida e os padrões de consumo na Ásia melhorarem, como tem vindo a acontecer, primeiro na China e, brevemente, na Índia. O efeito multiplicador de potencialmente 60% da população global a ter um impacto e pegada ecológica crescente, sem querer dramatizar ou parecer “Malthusiano” ⁽²⁵⁾, não parece sustentável ou possível. Como resume Andrew Goudie ⁽²⁶⁾ o impacto dos humanos pode ser expresso em termos de uma equação simples: $I = PAT$, I é a quantidade de pressão ou impacto que os humanos aplicam no ambiente, P é o número de pessoas, A é a afluência ou procura de recursos por pessoa e T é o factor tecnológico, o poder que os humanos podem exercer através de mudanças tecnológicas. Um grupo enorme de população, crescente, com cada vez mais pegada ecológica por pessoa e tecnologias potencialmente mais perigosas e poluidoras, só pode aumentar exponencialmente o seu impacto no meio.

²⁵ - https://en.wikipedia.org/wiki/An_Essay_on_the_Principle_of_Population

²⁶ - GOUDIE, A. “The Human Impact on the Natural Environment”, 6ª ed, Oxford, Blackwell, 2009, p. 10

Antes de prosseguir com questões ligadas a padrões espaciais de emissões, apesar de haver neste texto uma secção específica para recursos *online*, importa referir que existe informação do mesmo tipo (volume, peso relativo, evolução, cumulativo, mapas, etc.) para os outros gases de efeito de estufa principais, metano e óxidos de azoto, mas que se optou por não os analisar aqui. O sítio de onde esta última informação foi retirada, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>, deve ser explorado profundamente e com algum tempo, pois é dos melhores que existem para todo o tipo de informação, sobretudo porque: a qualidade da informação é garantida, actualizada, sabe-se a origem dos dados, há todo o tipo de metadados, podem-se ver e visitar as fontes, as metodologias de contabilização e análise são explicadas e, muito importante, pode-se interagir com a infografia, melhorá-la, destacar dados, descarregar os gráficos e, sobretudo, descarregar os dados em tabela.

O sítio "Our World in Data" (<https://ourworldindata.org/>, Figura 90, abaixo), é validado e utilizado por instituições de ensino e investigação de grande qualidade, bem como revistas científicas e comunicação social de referência. O controlo e interactividade permitidos, tanto a nível dos dados como da infografia, para um leque variado de tópicos, tornam esta fonte obrigatória para professores e investigadores, merece e requer uma longa e detalhada visita, bem como um constante retorno, nem que seja pelas actualizações e diversificação constantes.

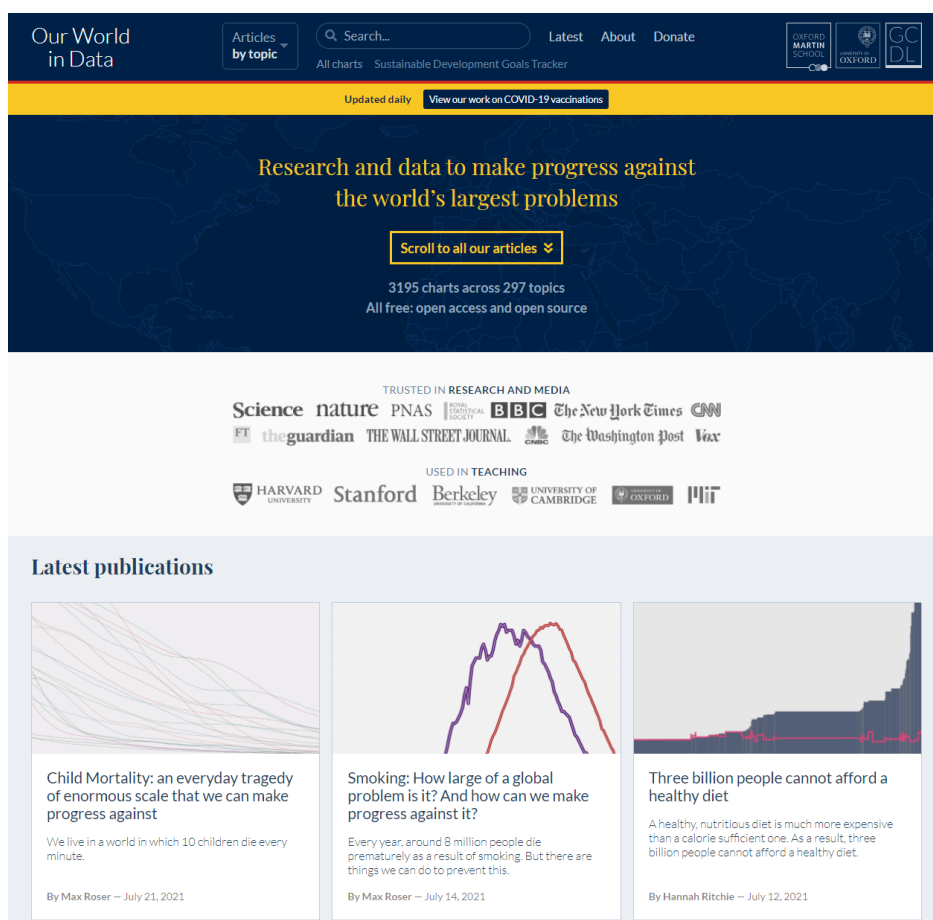


Figura 90 – "Our World in Data".

Fonte: <https://ourworldindata.org/>

Voltando às emissões de gases de efeito de estufa, existe cartografia e formas de visualização e análise dos seus padrões espaciais, extremamente interessantes e, consequentemente, com enorme potencial pedagógico e didáctico. Começamos por um mapa global das emissões de NO_x ⁽²⁷⁾ (Figura 91, abaixo), óxidos de azoto, produzidos durante a combustão de combustíveis como os hidrocarbonetos, sendo dos mais relevantes em termos de poluição atmosférica e que incluem óxido nítrico (NO) e dióxido de azoto (NO₂), responsáveis por *smog* ⁽²⁸⁾, chuvas ácidas e que afectam o ozono troposférico. Embora tenha, sobretudo, efeitos no ambiente e na saúde, é um óptimo indicador de elevada queima de combustíveis fósseis, daí estarem tão bem delineadas as rotas do tráfego marítimo global, bem como as aéreas (54% do NO_x antropogénico), áreas com muita produção eléctrica com carvão, mas também resultado do uso de fertilizantes e fixação de azoto, além de fontes naturais, i.e., trovoadas (daí a faixa "tropical" em África).

²⁷ - <https://en.wikipedia.org/wiki/NOx>

²⁸ - <https://en.wikipedia.org/wiki/Smog>

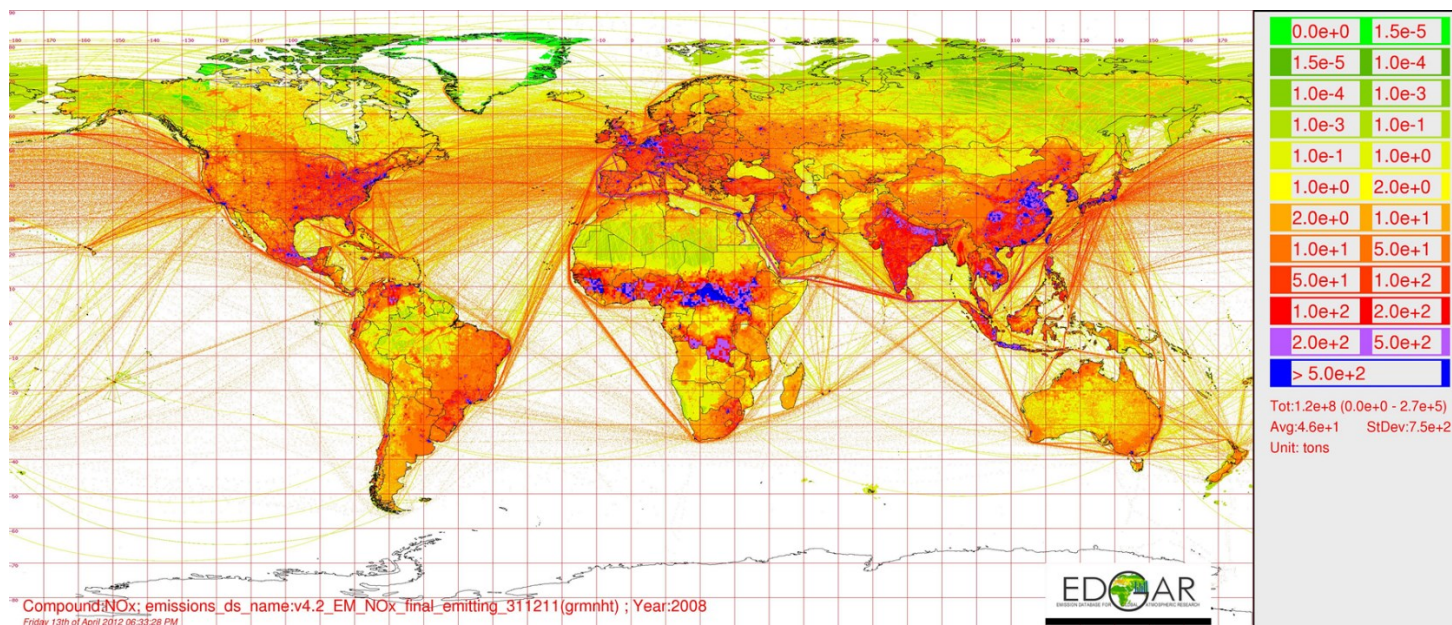


Figura 91 – Emissões de NO_x, 2008.

Fonte: https://eodpp.jrc.ec.europa.eu/ftp/jrc-opendata/EDGAR/datasets/v42/gallery/NOx/TOTALS/v42_NOx_2008_TOT.jpg

Estes gases, que põem problemas à saúde pública, em áreas com muito tráfego de todos os tipos, não devem ser confundidos com os óxidos de azoto (N₂O) ⁽²⁹⁾, esses sim gases de efeito de estufa, depois do metano e dióxido de carbono, que também têm um importante papel na destruição da camada do ozono estratosférico, sendo que cerca de 40% das emissões anuais são de origem antrópica, sobretudo indústria e agricultura. Contudo, a cartografia da sua densidade atmosférica, é um dos melhores indicadores de onde e em que quantidade são queimados combustíveis fósseis, que libertam também quantidades elevadíssimas de CO₂.

Se observarmos cartografia da quantidade de dióxidos de azoto, medida entre Abril e Setembro de 2018 pelo satélite Sentinel 5-P da ESA (Figuras 92 e 93, abaixo), podemos claramente identificar os eixos de tráfego marítimo, principais vias de comunicação terrestre, principais áreas metropolitanas, sua dimensão e extensão, bem como grandes áreas industriais na Europa e leste da Ásia. Por contraste, é também interessante ver quais as áreas menos poluídas.

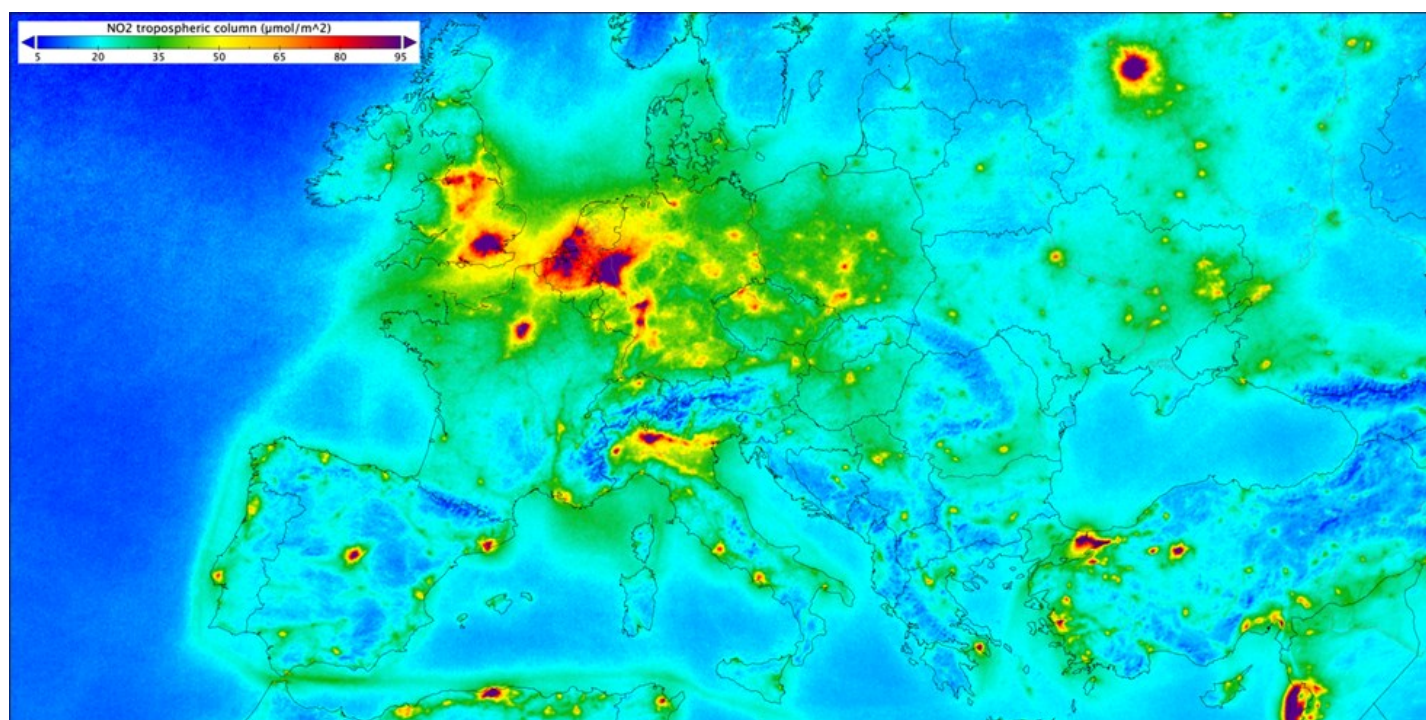


Figura 92 – Dióxido de azoto na coluna troposférica, Europa, Abril a Setembro de 2018.

Fonte: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Nitrogen_dioxide_pollution_mapped

²⁹ - https://en.wikipedia.org/wiki/Nitrous_oxide

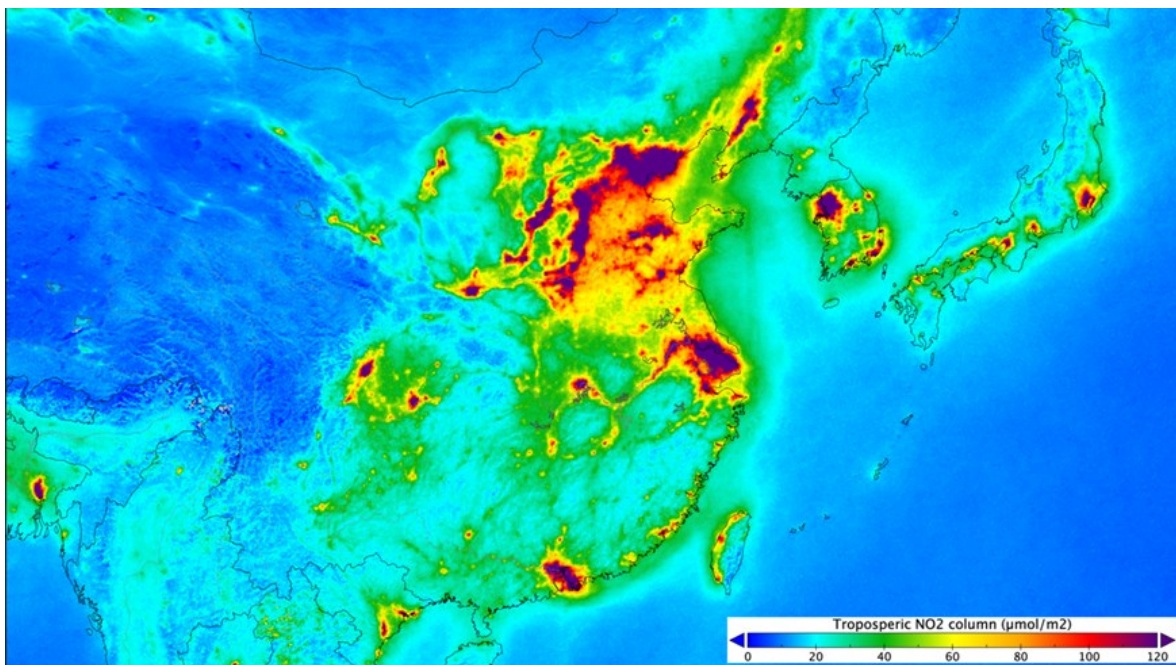


Figura 93 – Dióxido de azoto na coluna troposférica, Leste da Ásia, Abril a Setembro de 2018.

Fonte: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Nitrogen_dioxide_pollution_mapped

O exemplo mais recente, dramático a vários níveis, da importância da actividade antrópica, neste caso queima de combustíveis fósseis, pôde-se ver e medir em 2020, em virtude dos confinamentos totais da população, na primeira onda de Covid 19 (Figura 94, abaixo). Esta diminuição brutal coincidiu, até e apesar das celebrações do ano novo chinês, que originaram um movimento de 419 e 420 milhões de pessoas, em 2018 e 2019, respectivamente ⁽³⁰⁾. Esta diminuição e estagnação é ainda mais evidente ao redor de Wuhan, foco inicial da pandemia (Figura 95, abaixo), mesmo depois do ano novo chinês, comparando 2020 com 2019.

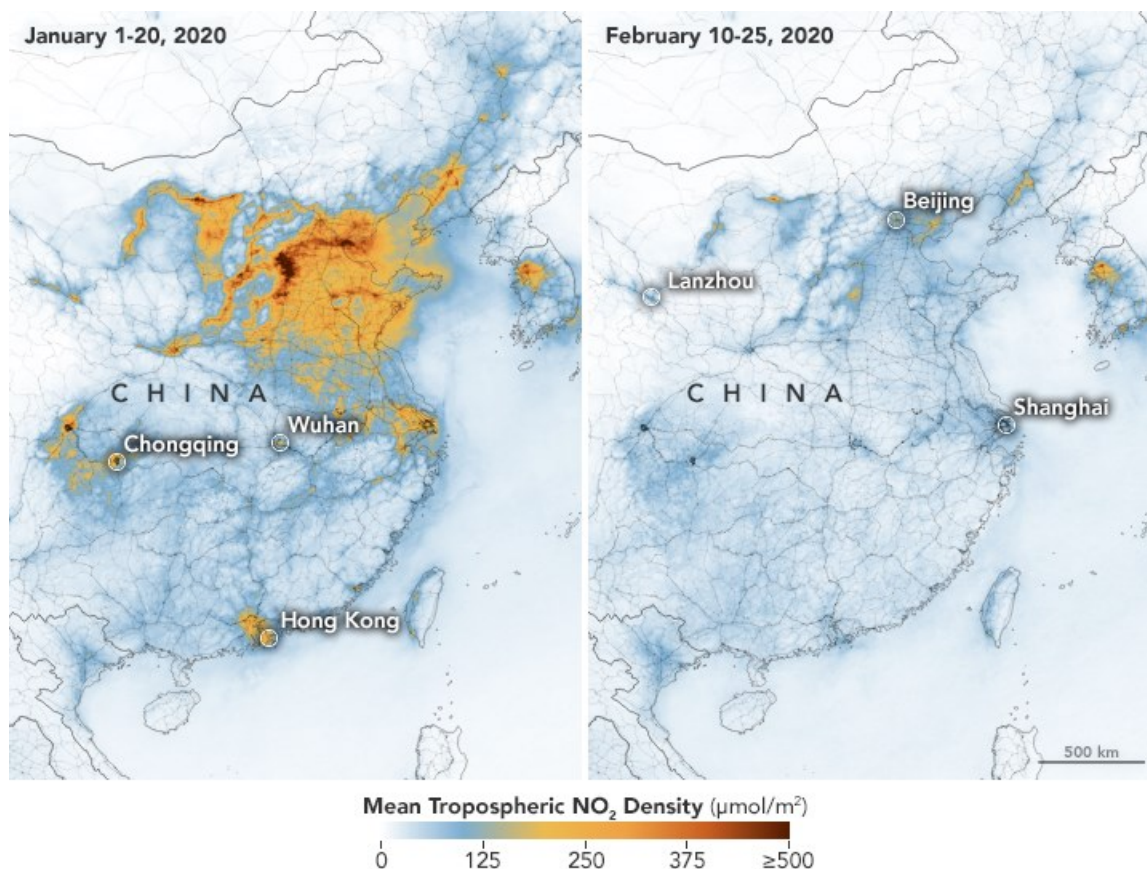


Figura 94 – Diminuição do dióxido de azoto, sobre a China, 1 de Janeiro e 25 de Fevereiro de 2020.

Fonte: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146362/airborne-nitrogen-dioxide-plummet-over-china>

³⁰ - <https://www.statista.com/statistics/1214090/china-number-of-chinese-new-year-travelers/>

Pollutant Drops in Wuhan—and Does not Rebound

Unlike 2019, NO₂ levels in 2020 did not rise after the Chinese New Year.

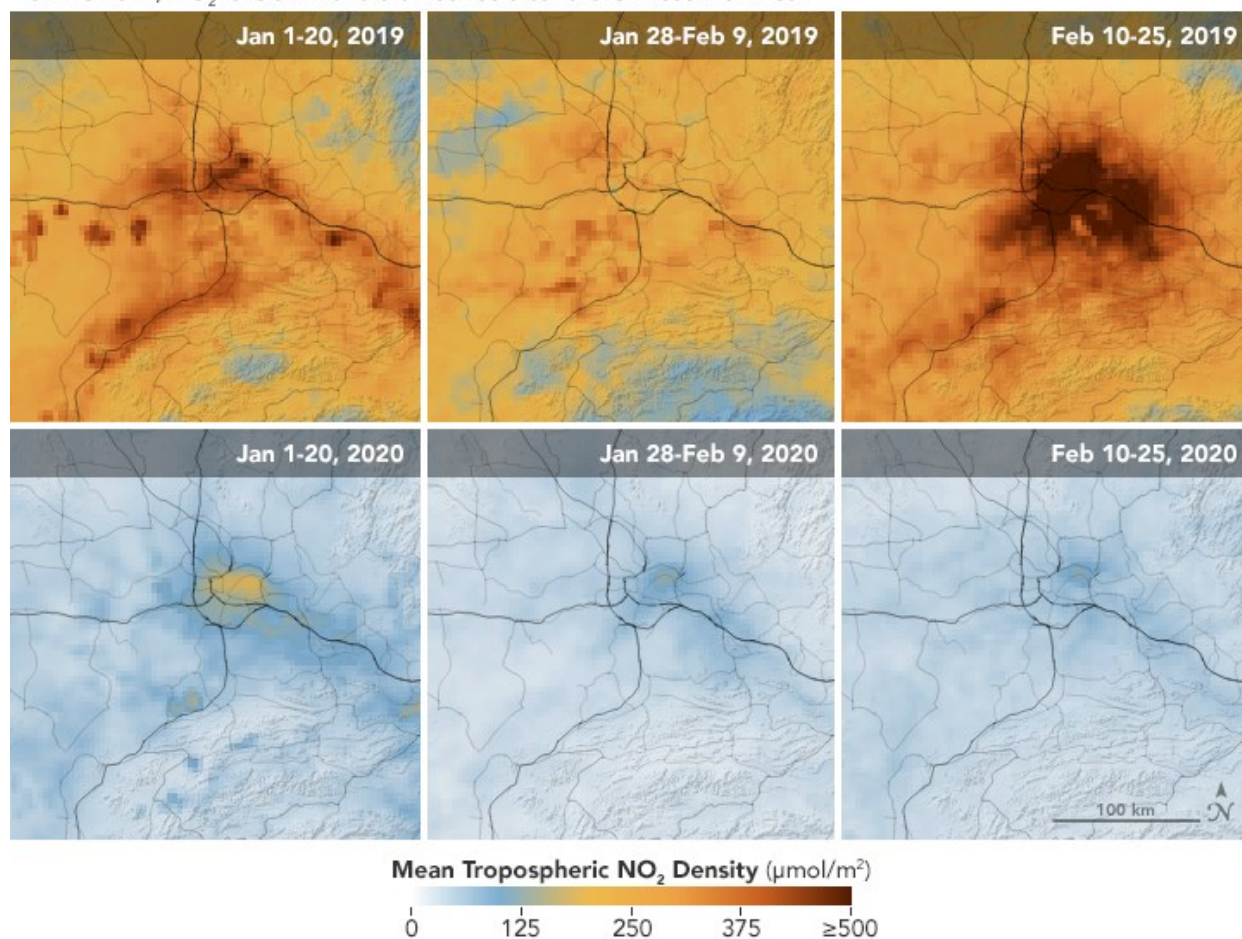


Figura 95 – Diminuição dos níveis de NO₂ na região de Wuhan, Janeiro a Fevereiro de 2019 e 2020.

Fonte: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146362/airborne-nitrogen-dioxide-plummets-over-china>

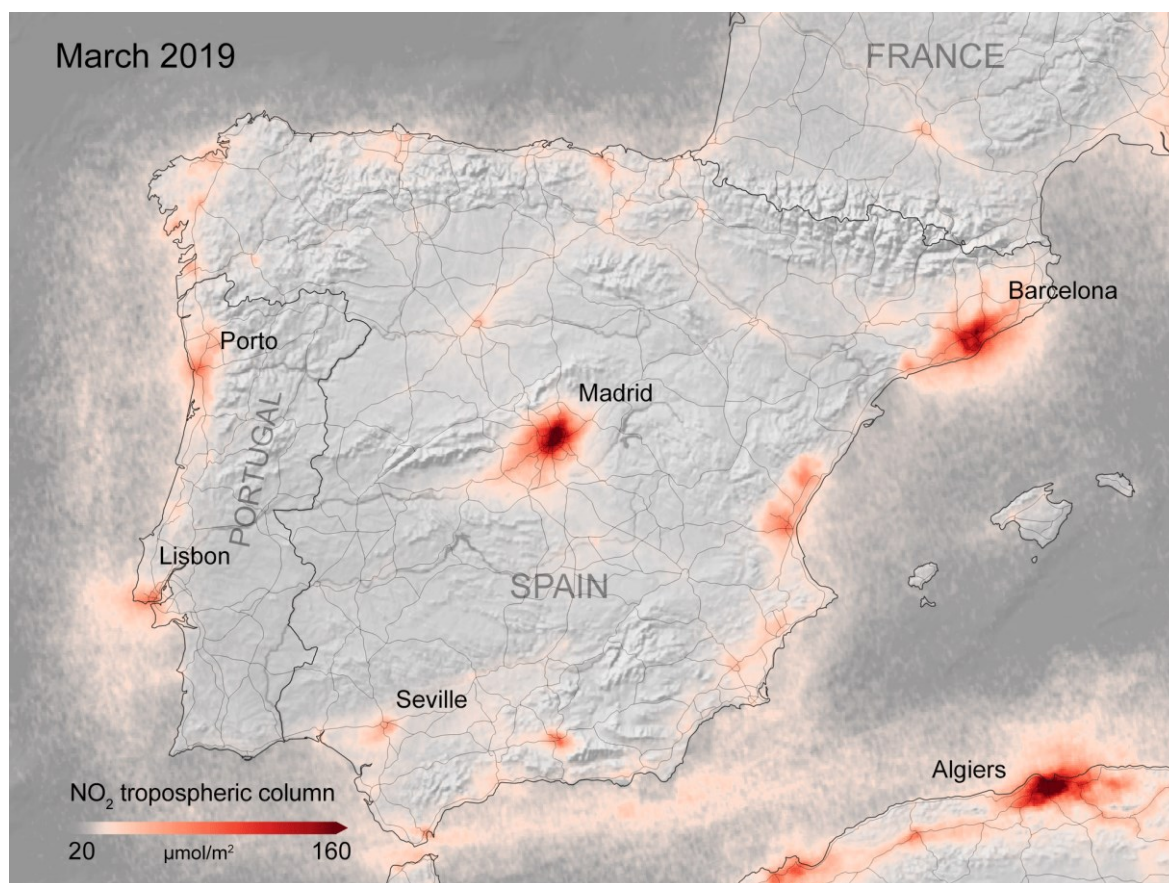


Figura 96 – GIF animado da variação de concentração de NO₂, na península Ibérica, 14-25 de Março 2020.

Fonte: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/

Nas Figuras 96, acima, 97, 98 e animação, 99, abaixo, podem-se ver os impactos dos confinamentos, através da queda enorme de concentração de NO₂ troposférico, na Península Ibérica, França, Itália e Europa (animação), em virtude do Covid, no início de 2020. Nalguns casos a paragem de tráfego foi quase total, rodoviário, ferroviário, marítimo e aéreo.

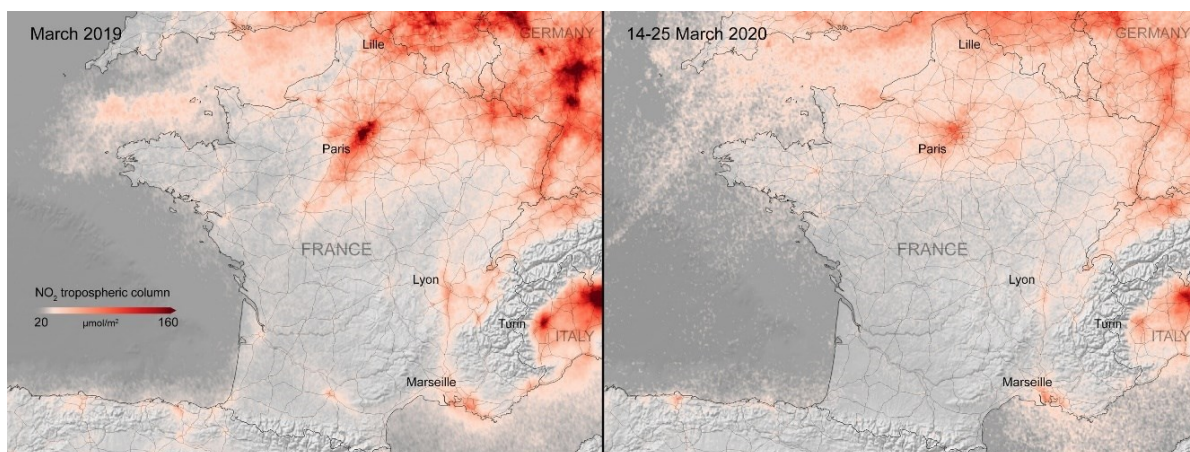


Figura 97 – Variação de concentração de NO₂, França, 14-25 de Março 2020.

Fonte: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/

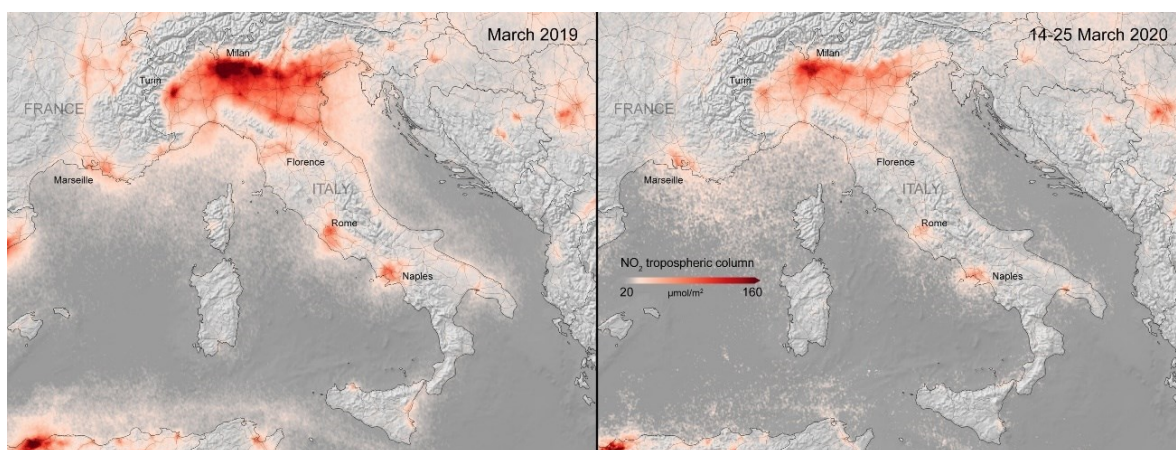


Figura 98 – Variação de concentração de NO₂, Itália, 14-25 de Março 2020.

Fonte: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/

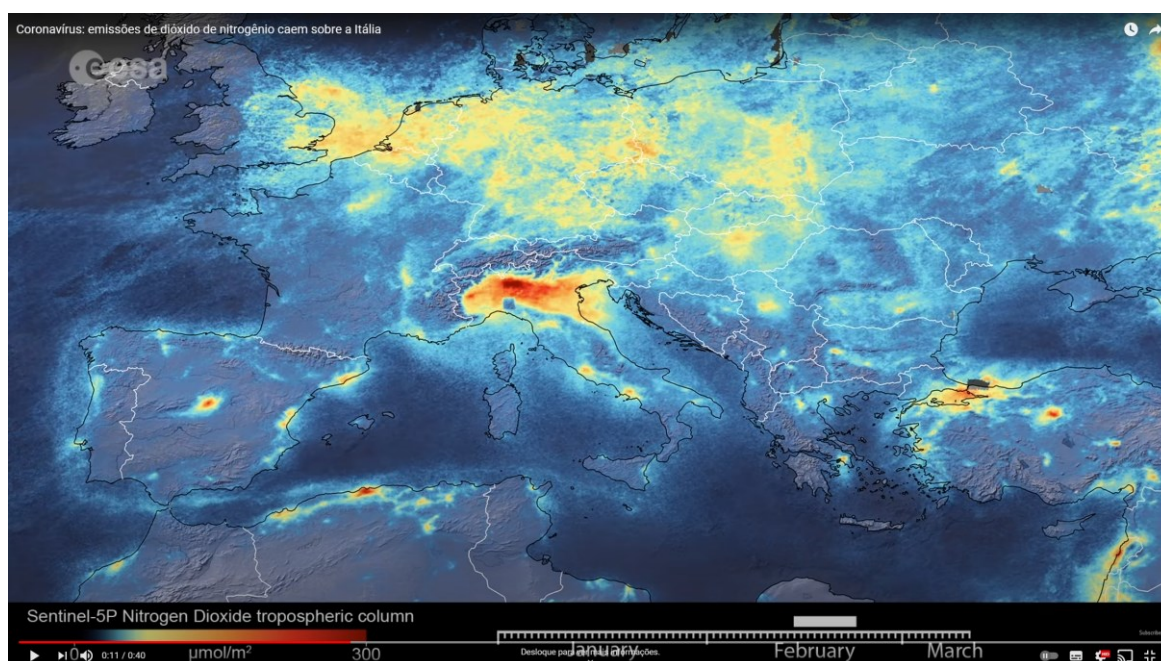


Figura 99 – Vídeo da diminuição de NO₂ na Europa, 1 de Janeiro a 20 de Março 2020, confinamentos Covid.

Fonte: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/03/Coronavirus_nitrogen_dioxide_emissions_drop_over_Italy

Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=ARpxtAKsORw&t=6s>

Após os confinamentos de 2020, em virtude da pandemia de Covid 19, foram divulgadas muitas imagens, sobretudo de cidades, sem pessoas, carros, movimento, alguns exemplos nas Figuras seguintes, 100 a 103 abaixo.

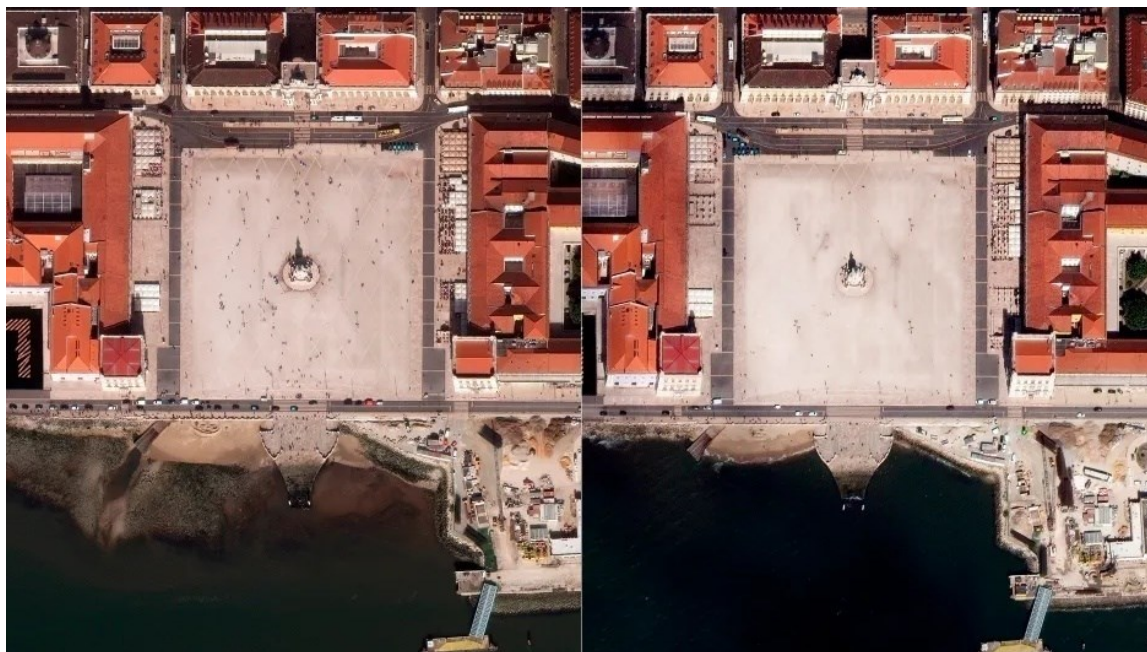


Figura 100 – Praça do Comércio, em Lisboa, 27 de Fevereiro (esquerda) e 17 de Março de 2020 (direita).
Fonte: <https://www.foxnews.com/us/in-pictures-then-and-now-with-the-coronavirus>



Figura 101 – Ponte sobre o Yangtse, Huwan, China, 12 de Janeiro e 28 de Janeiro de 2020.
Fonte: <https://www.bloomberg.com/features/2020-coronavirus-satellite-photos-before-after/>

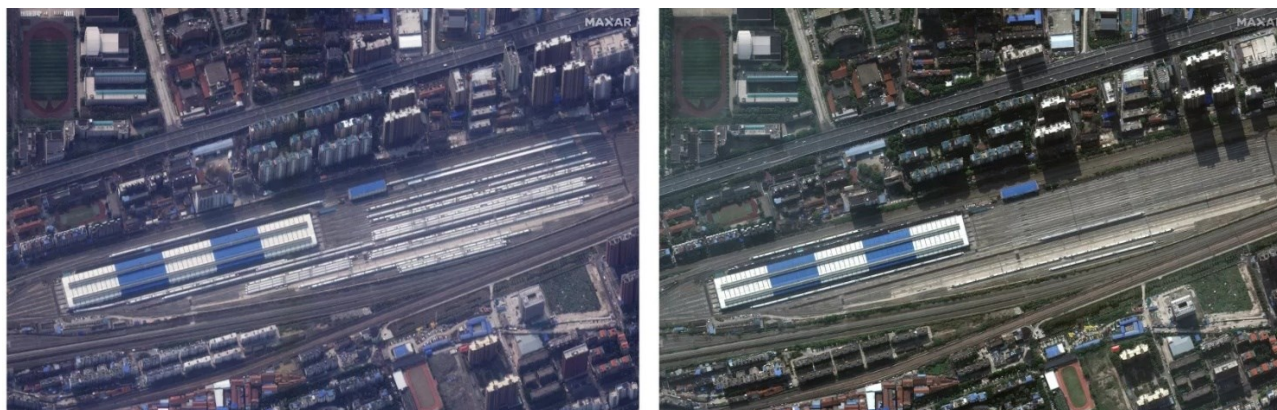


Figura 102 – Estação de comboio de Wuhan, China, 17 de Outubro de 2019, 25 de Fevereiro de 2020.
Fonte: <https://www.space.com/coronavirus-impact-from-space-before-and-after-satellite-images.html>



Figura 103 – Caaba, dentro da Grande Mesquita de Meca, Arábia Saudita, 25 de Janeiro e 10 de Março 2020. Fonte: <https://www.bloomberg.com/features/2020-coronavirus-satellite-photos-before-after/>

Mudando de gás, podemos também observar cartografia relativa ao metano na coluna troposférica (Figura 104, em baixo), medido pelo satélite Envisat, média anual e por estações do ano e evolução global entre 2003 e 2010. O metano, 34 vezes mais potente do que o dióxido de carbono enquanto gás de efeito de estufa, com 150% de aumento de concentração na atmosfera desde 1750 e responsável por cerca de 20% do “forçamento” radiativo do efeito de estufa, ocorre naturalmente por processos geológicos e biológicos ⁽³¹⁾, associado à decomposição e decomposição anaeróbica. A maior parte da sua emissão, antrópica, à agricultura industrial (fermentação entérica, arrozais, gestão de estrume, 39.94%), combustíveis fósseis (distribuição de gás, poços de petróleo e minas de carvão, 3.88%) e resíduos (lixo e gás de aterros sanitários, 18.73%) ⁽³²⁾.

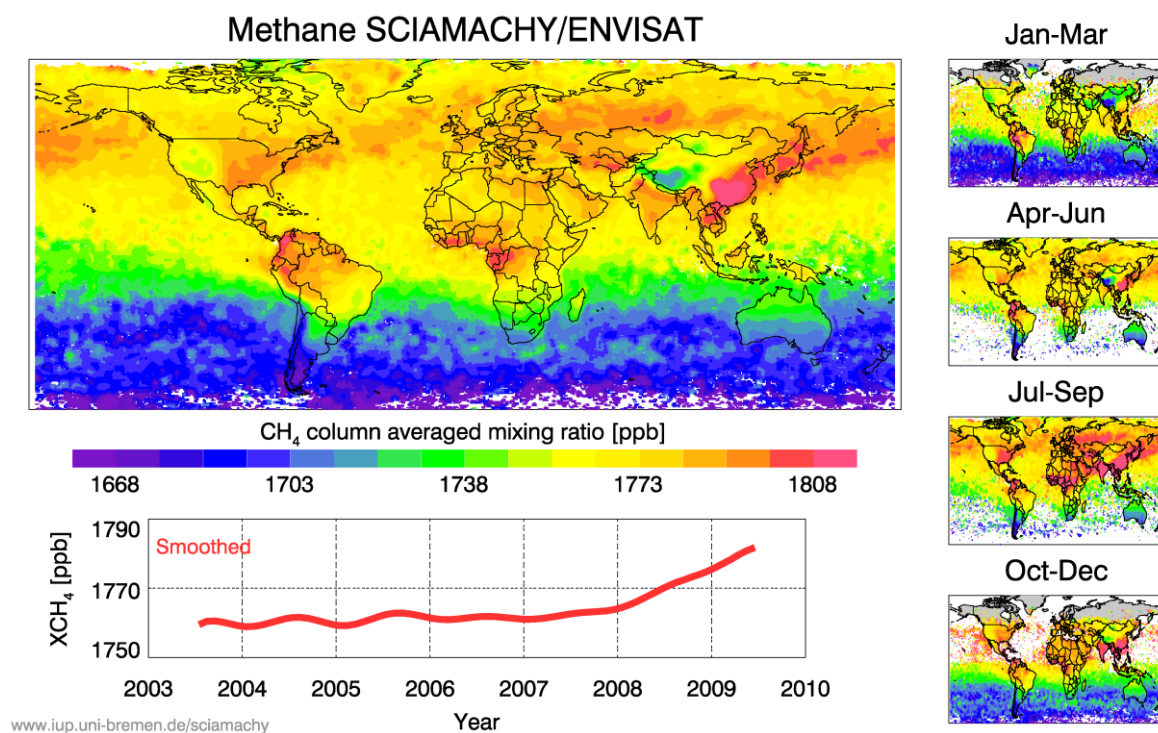


Figura 104 – Metano na coluna troposférica, Envisat, anual e estações do ano, evolução 2003 a 2010. Fonte: https://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/NIR_NADIR_WFM_DOAS/ch4_scia_10y_v2_eng.png

³¹ - <https://en.wikipedia.org/wiki/Methane>

³² - https://en.wikipedia.org/wiki/Methane_emissions

Para se compreender melhor, tanto a proporção de emissão antrópica como as fontes e sumidouros de metano, convém analisar o balanço, devidamente quantificado, para o período 2008-2017 (Figura 105, abaixo). Os fluxos ascendentes são de origem antrópica, os resultantes da agricultura e resíduos são superiores a todos os naturais (a verde, zonas húmidas, pântanos e outras origens naturais), a estes acresce uma grande quantidade resultante da produção e uso de combustíveis fósseis, ao que se soma uma pequena porção de queima de biomassa e biocombustíveis, que, no entanto, é tanto natural como antrópica. Visto que os sumidouros naturais, os solos e os resultantes de reacções químicas na atmosfera, apresentam menor capacidade, há um balanço positivo, de metano, que vai ficando na atmosfera, amplificando o efeito de estufa.

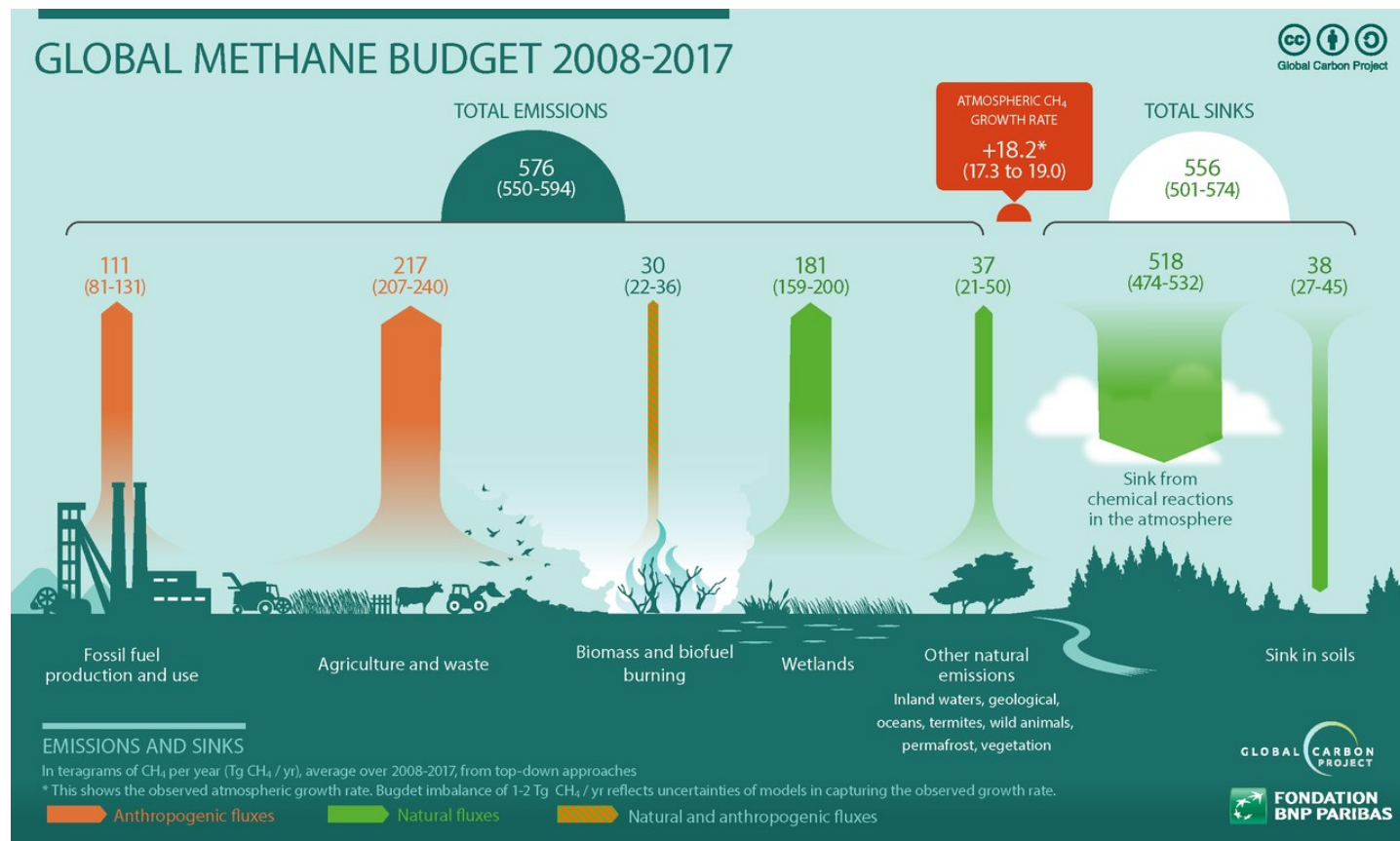


Figura 105 – Balanço global de metano, 2008-2017.

Fonte: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab9ed2>

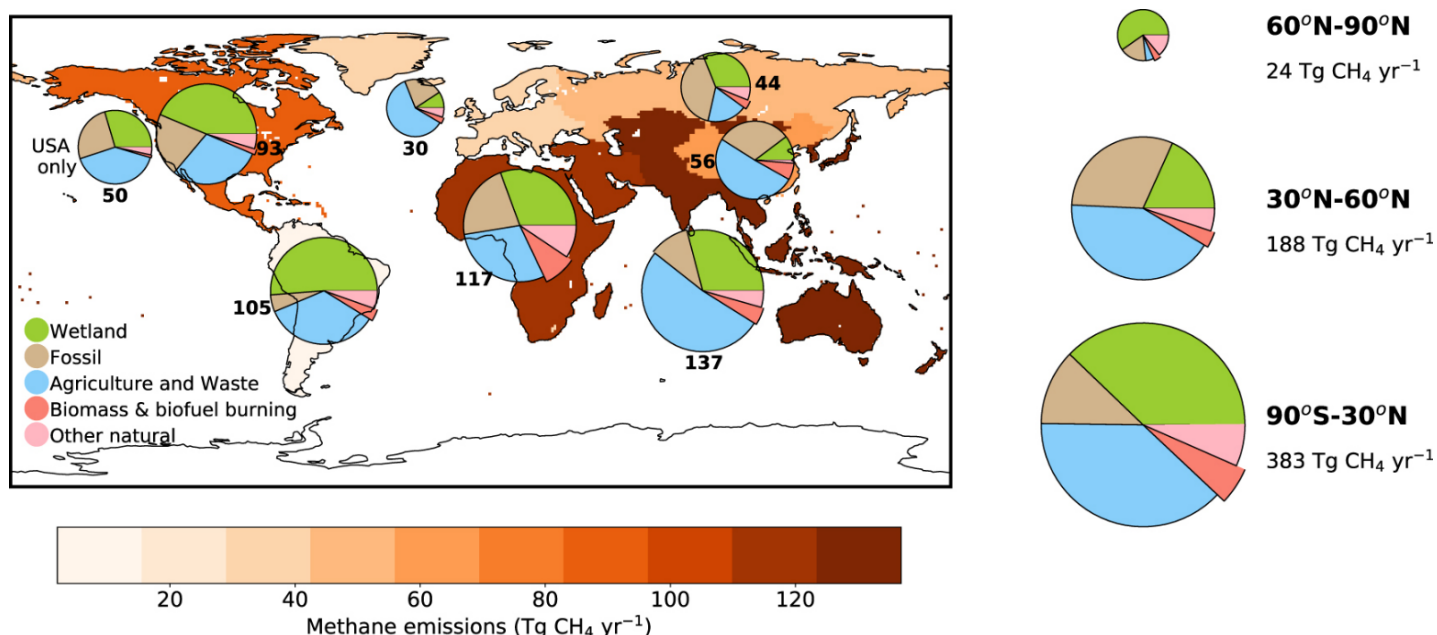


Figura 106 – Emissões de metano, por região, latitude e fonte, 2017.

Fonte: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab9ed2>

Um dos grandes problemas do aquecimento global, em termos de emissões de metano, é o seu efeito indirecto, ao acelerar o degelo do *permafrost* das altas latitudes, que possuem uma grande quantidade de metano retido (Figura 107, abaixo), exemplo típico de *feedback* positivo ⁽³³⁾. Como se pode ver, na Figura 106, acima e na 104 (duas páginas atrás), em função do peso das várias fontes, naturais ou antrópicas, em cada continente, as emissões vão ser bastante diferenciadas e evoluir, ao longo do ano, de formas distintas, como se pode ver na animação (Figura 108, abaixo).

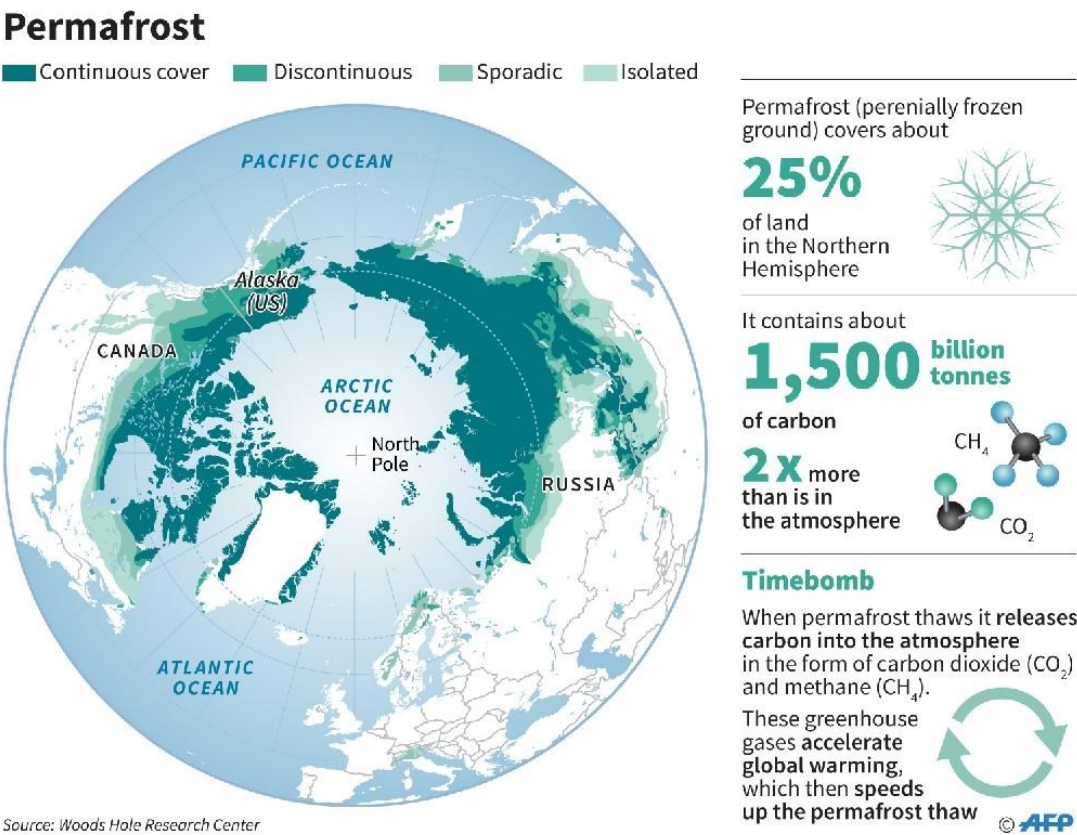


Figura 107 – Permafrost no hemisfério Norte.
 Fonte: http://media.zenfs.com/en_us/News/afp.com/d36bf784e04dc3817d75ed10d521a4781a755d1e.jpg



Figura 108 – Visualização 3D da emissão e transporte do metano atmosférico, Dezembro de 2017 -2108.
 Fonte: <https://svs.gsfc.nasa.gov/4799>
 Vídeo: <https://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a004700/a004799/MethaneNarrationSM.mp4>

³³ - Ver <https://climate.nasa.gov/news/2785/unexpected-future-boost-of-methane-possible-from-arctic-permafrost/>, https://earth.org/data_visualization/what-is-permafrost-and-how-is-it-emitting-methane/

Por último, em termos de gases, um que não é muito referido, o monóxido de carbono (³⁴), originado pela combustão térmica incompleta, ou ineficiente, não se pode ver ou cheirar, é altamente tóxico para os humanos, pois liga-se à hemoglobina e impede o transporte de oxigénio no sangue, as suas maiores fontes de emissão antrópica são a queima de combustíveis em veículos e os fogos, as naturais são os vulcões e reacções fotoquímicas na atmosfera. Embora exista numa pequena proporção na atmosfera (0.80 ppb), ao reagir com hidroxilos radicais (OH -) tem dois efeitos: cria por oxidação CO₂ e O₃, aumentando as suas concentrações e ao consumir OH -, que destruiria metano, não diminui a sua concentração, logo tem um efeito duplo, amplificador, da concentração de outros gases com efeito de estufa, por causas antrópicas indirectas.

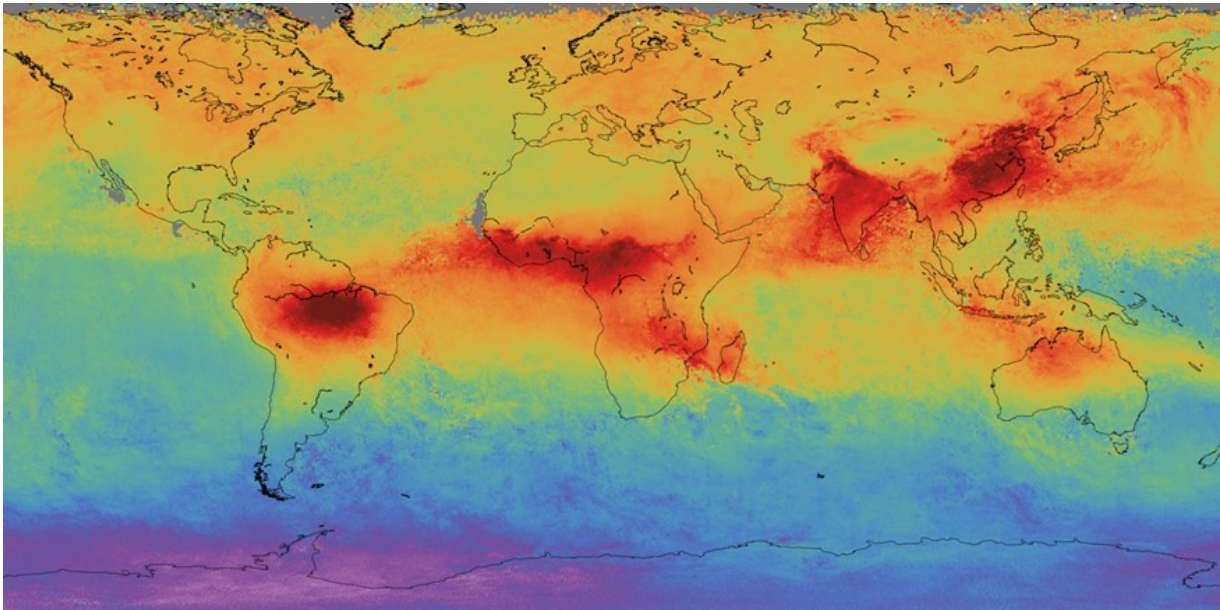


Figura 109 – Monóxido de carbono global, Sentinel - 5P, 2017.

Fonte: <https://www.esa.int/esearch?q=carbon+monoxide>

Pode-se ver, na Figura 109, acima, como as maiores concentrações estão associadas a queimadas, sobretudo nos trópicos, actividade vulcânica (Indonésia), bem como elevada concentração de centrais térmicas a carvão. Graças à introdução e generalização de catalisadores em veículos rodoviários, as emissões antrópicas de monóxido de carbono têm diminuído, pelas mesmas razões e pelo baixo teor de enxofre no gasóleo, também as de NO_x e óxidos de enxofre, importantes para a diminuição enorme das chuvas ácidas, Figura 110, abaixo.

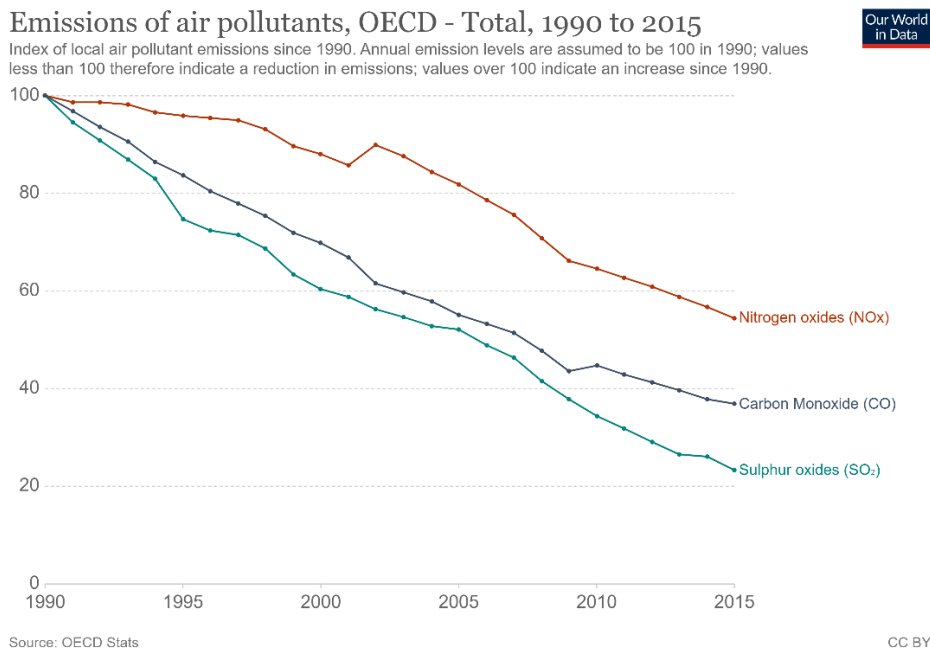


Figura 110 – Emissões de gases poluentes, OCDE, 1990-2015.

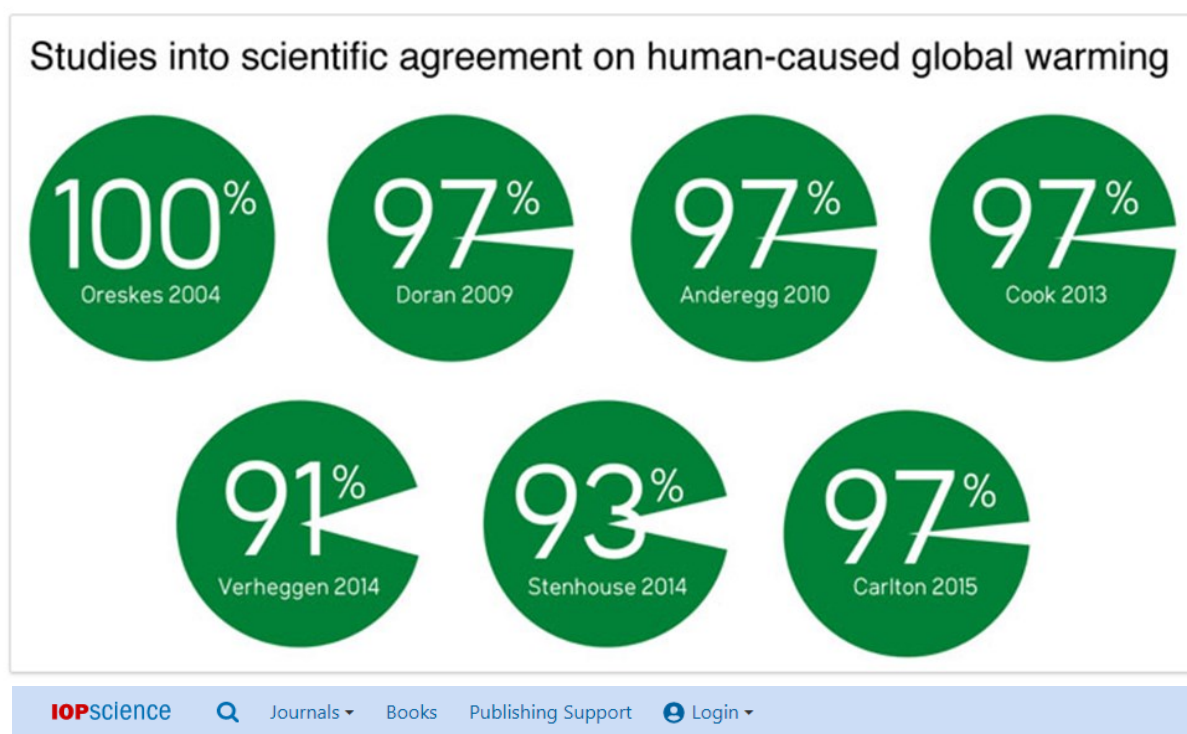
Fonte:<https://ourworldindata.org/grapher/emissions-of-air-pollutants-oecd?time=earliest..2015&country=~OECD+-+Total>

34 - https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_monoxide

Consenso

Neste ponto, encerrada a apresentação da percepção, mecanismos, processos, indicadores e dados relativos às alterações climáticas, antes de passarmos aos recursos “pesados” disponíveis *online*, outras fontes de informação e periódicos, importa encerrar, de certa forma, a questão teórica, discutindo o consenso científico que existe acerca das causas humanas do aquecimento global. Ao longo de todo o texto houve a preocupação de fugir, o mais possível, de contra-argumentação relativamente a negacionismos e negacionistas e todos os seus métodos e “teorias”, uma delas é de que “somente” 97% cento dos estudos atribuem causas humanas ao aquecimento global, havendo 3% que não o fazem haveria outras “verdades”, até isso é falso, passemos então, como se tem tentado até aqui, estritamente aos factos.

Os setes estudos que existem sobre a causa humana do aquecimento global, analisados e discutidos, numa meta-análise, no artigo (de leitura indispensável) ⁽³⁵⁾, “Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming” (Figura 111, abaixo), variam entre 100% e 91%, tendo uma média (avassaladora), de 97% de concordância com a relação causa-efeito.



ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS

REPLY • OPEN ACCESS

Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming

John Cook^{16,1,2,3}, Naomi Oreskes⁴, Peter T Doran⁵, William R L Anderegg^{6,7}, Bart Verheggen⁸, Ed W Maibach⁹, J Stuart Carlton¹⁰, Stephan Lewandowsky^{11,2}, Andrew G Skuce^{12,3}, Sarah A Green¹³, Dana Nuccitelli³, Peter Jacobs⁹, Mark Richardson¹⁴, Bärbel Winkler³, Rob Painting³ and Ken Rice¹⁵ — [Hide full author list](#)

Published 13 April 2016 • © 2016 IOP Publishing Ltd

[Environmental Research Letters](#), Volume 11, Number 4

Citation John Cook et al 2016 *Environ. Res. Lett.* 11 048002



[Figures](#) ▾ [References](#) ▾

737001 Total downloads



[Turn on MathJax](#)

Share this article



Figura 111 – “Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming”.

Fonte: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/4/048002/meta>

³⁵ - John Cook et al 2016 *Environ. Res. Lett.* 11 048002, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/4/048002/meta>

O resumo deste artigo é o seguinte: «O consenso de que os humanos estão a causar o aquecimento global recente é partilhado por 90% - 100% dos cientistas do clima que publicam, de acordo com seis estudos independentes feitos pelos co-autores deste artigo. Esses resultados são consistentes com o consenso de 97% relatado por Cook *et al* (*Environ. Res. Lett.* [8 024024](#)), com base em 11944 resumos de artigos de investigação, dos quais 4014 tomaram posição sobre a causa do aquecimento global recente. Uma pesquisa dos autores desses artigos (N = 2.412 artigos) também apoiou um consenso de 97%. Richard Tol (2016 *Environ. Res. Lett.* [11 048001](#)) chega a uma conclusão diferente usando resultados de pesquisas de não especialistas, como geólogos economistas e um grupo auto-selecionado daqueles que rejeitam o consenso. Demonstramos que esse resultado não é inesperado, porque o nível de consenso se correlaciona com a especialização em ciência do clima. Num ponto, Tol também reduz o consenso aparente, ao assumir que resumos que não declaram explicitamente a causa do aquecimento global ("nenhuma posição" representa um não endosso, uma abordagem que, se fosse aplicada noutro lugar, rejeitaria o consenso em teorias bem estabelecidas, como a da tectónica de placas. Examinamos os estudos disponíveis e concluímos que a descoberta de consenso de 97% na pesquisa climática publicada é robusta e consistente com outras pesquisas de cientistas do clima e estudos revisados por pares», ponto final, parágrafo.

No artigo, como se pode ver na Figura 112, abaixo, o nível de consenso acerca do aquecimento global antropogénico (AGW no original, *Anthropogenic Global Warming*) aumenta com o grau de maior especialização em ciências climáticas, ou seja, resulta da fusão de opinião científica "geral" com opinião científica "especializada". Existe, também, uma quantidade esmagadora de organizações científicas mundiais (quase 200), com a posição de que "as alterações climáticas são causadas por acção humana" (Figura 113, abaixo), a lista está disponível em: <http://www.opr.ca.gov/facts/list-of-scientific-organizations.html>, página dedicada ao consenso na NASA – Global Climate Change <https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/>, ou a síntese na Wikipédia, https://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_consensus_on_climate_change.

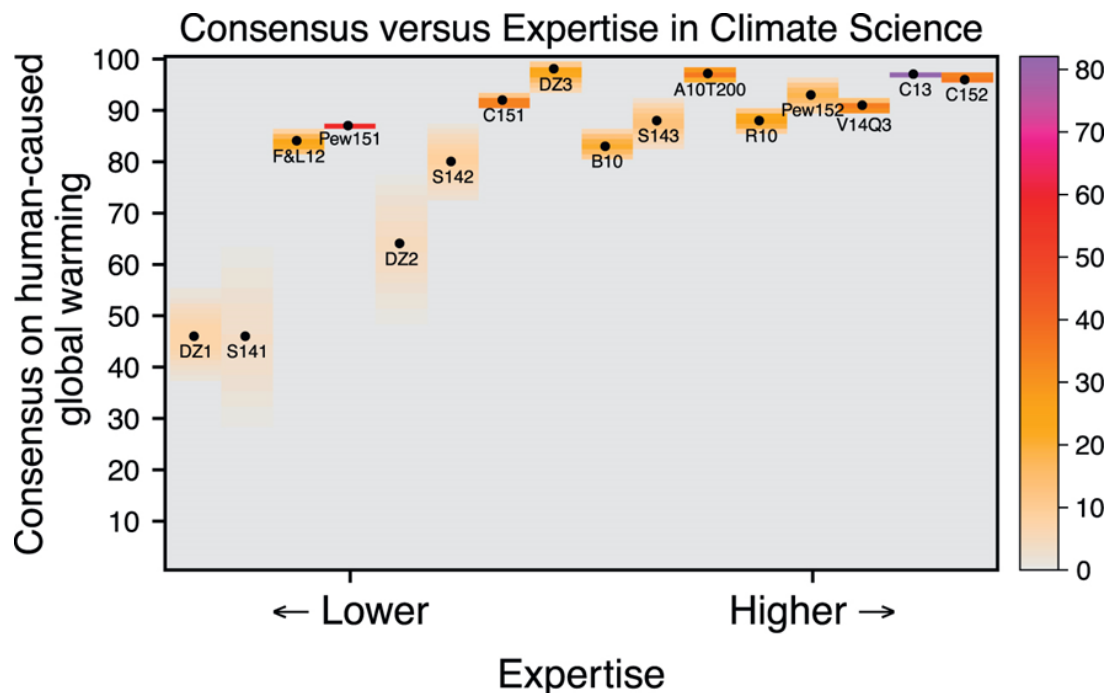


Figura 112 – Consenso vs especialização em ciências climáticas.
 Fonte: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/4/048002/meta>

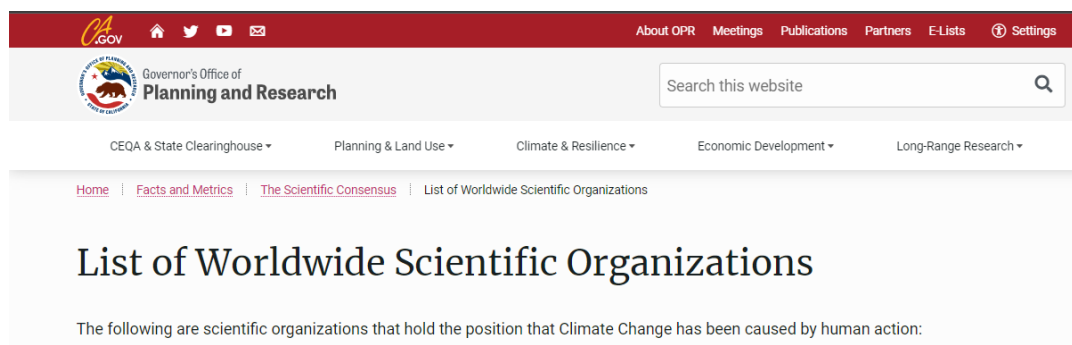


Figura 113 – Lista das organizações científicas mundiais, com a posição de que "as alterações climáticas são causadas por acção humana".
 Fonte: <http://www.opr.ca.gov/facts/list-of-scientific-organizations.html>

No entanto, restam os 3% que rejeitam o aquecimento global antropogénico, analisando uma selecção desses artigos, concluiu-se que apresentavam falhas metodológicas, falta de informação de contexto, etc. O artigo que faz esta análise, “Learning from mistakes in climate research” ⁽³⁶⁾ (Figura 114, abaixo), tem o seguinte resumo: “Entre os artigos que tomam uma posição sobre o aquecimento global antropogénico (AGA), 97% endossam o AGA. O que se passa com os 2% de artigos que rejeitam o AGA? Examinámos uma selecção de artigos que rejeitam AGA, tendo sido desenvolvida uma ferramenta analítica, para replicar e testar os resultados e métodos usados nesses estudos; a nossa replicação revela uma série de falhas metodológicas e um padrão de erros comuns emerge, que não é visível quando examinamos casos isolados. Assim, as disputas científicas da vida real nalguns casos podem ser resolvidas e podemos aprender com os erros. Um denominador comum parece ser a falta de informações contextuais, ou ignorar informações que não se encaixam nas conclusões, seja outro trabalho relevante ou dados geofísicos relacionados. Em muitos casos, as deficiências são devidas a avaliação insuficiente de modelo, levando a resultados que não são universalmente válidos, mas sim um artefacto de uma configuração experimental específica. Outras fraquezas típicas incluem falsas dicotomias, métodos estatísticos inadequados ou conclusões baseadas em física mal concebida ou incompleta. Também argumentamos que a ciência nunca está estabelecida e que tanto os artigos convencionais quanto os contrários devem ser submetidos a um escrutínio contínuo. O mérito da replicação é destacado e discutimos como a qualidade da literatura científica pode se beneficiar da replicação”.



Original Paper | Open Access | Published: 20 August 2015

Learning from mistakes in climate research

Rasmus E. Benestad , Dana Nuccitelli, Stephan Lewandowsky, Katharine Hayhoe, Hans Olav Hygen, Rob van Dorland & John Cook

Theoretical and Applied Climatology **126**, 699–703 (2016) | [Cite this article](#)

142k Accesses | **27** Citations | **1725** Altmetric | [Metrics](#)

Figura 114 – “Learning from mistakes in climate research”.

Fonte: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-015-1597-5>

Existem muito mitos, factos alternativos e “teorias” de negacionismo em relação às causas humanas do aquecimento global, quem necessitar contrapor, desmentir e explicar o que a ciência diz acerca disso, pode visitar um sítio onde muitos destes mitos são desmontados: “Skeptical Science”, <https://skepticalscience.com/> (Figura 115, abaixo). Esta organização, criada e mantida por John Cook, tem desempenhado um papel fundamental e agregado consigo a comunidade científica, individualmente ou organizações, para ajudar a entender as alterações climáticas e aumentar, o mais possível, o conhecimento público acerca delas, podendo ser seguida quotidianamente em várias redes sociais, ou por *newsletter*. É importante explorar o muito que existe na página, nomeadamente:

1. Argumentos, usados contra e sua desmontagem, organizados por taxonomia, popularidade, contradições;
2. Recursos vários
 - a. Guia científico do cepticismo relativo ao aquecimento global;
 - b. Gráficos de clima e história do clima;
 - c. Glossário do clima;
 - d. Desinformação por fonte;
 - e. Links por argumento (pró e cépticos);
 - f. Calculadora de tendências de temperatura, para vários cenários;
3. Uma página enorme de comentários e discussão;
4. O “Projecto Consenso”, <http://theconsensusproject.com/>;

Na barra esquerda (Figura 115, abaixo), há ligação para os Factos do IPCC (<https://skepticalscience.com/ipcc.php>), guia para os Representative Concentration Pathways (<https://skepticalscience.com/rcp.php>), entre outros. Um projecto que merece ser seguido, apoiado e difundido. Juntamente com os dois artigos, referidos antes, fica encerrada a questão do consenso.

³⁶ - Benestad, R.E., Nuccitelli, D., Lewandowsky, S. et al. Learning from mistakes in climate research. *Theor Appl Climatol* **126**, 699–703 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1597-5>, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-015-1597-5>



Figura 115 – “Skeptical Science”.

Fonte: <https://skepticalscience.com/>

Recursos

A parte seguinte deste texto, seguindo a lógica, trajecto e materiais da formação, é a apresentação (sem exploração) dos recursos disponíveis, da informação “pesada”, considerada essencial para compreender, aprofundar e acompanhar a questão das alterações climáticas, clima global, causas antrópicas e impactos. Os recursos que vão ser apresentados, sumariamente, repito, não pretendem ser de forma alguma exaustivos, mas antes e sobretudo o que de melhor as principais e mais reputadas instituições e organizações têm produzido, mais recentemente, sob a forma de relatórios, estudos, ou nos seus sítios de internet. Como referido na introdução, todos os *links* foram verificados, caso deixem de funcionar, pelos títulos dos materiais será sempre (esperemos) possível chegar até eles. Os recursos não estão organizados por nenhuma ordem especial, embora se comece com os “grandes” relatórios, sobretudo o mais importante, passando-se depois a fontes de informação, tentando sempre apresentar não só a *homepage*, mas também como fazer esta informação “vir ter” connosco, através das redes sociais, o que facilita sobremaneira estar-se actualizado, com o menor esforço.

O primeiro recurso *online*, já referido e descrito antes, terá de ser: NASA Global Climate Change (Figura 116, abaixo), <https://climate.nasa.gov/>. Trunquei várias partes da página para lembrar que há várias secções, (em baixo na imagem, Factos, Artigos, Soluções, Explorar, Recursos e ciência da NASA), que há um blog e a opção de seguir a página em várias redes sociais, *Feed RSS* ou *Newsletter*. Há uma quantidade e qualidade assombrosa de informação, de todos os tipos, com ligações e mais ligações, artigos, referências, tudo, é absolutamente obrigatório explorar o mais possível.

GLOBAL CLIMATE CHANGE
Vital Signs of the Planet

FACTS ARTICLES SOLUTIONS EXPLORE RESOURCES NASA SCIENCE

CARBON DIOXIDE
↑ 417 parts per million

GLOBAL TEMPERATURE
↑ 2.1 °F since 1880

ARCTIC ICE MINIMUM
↓ 13.1 percent per decade

ICE SHEETS
↓ 428 billion metric tons per year

Blog

askNASA Climate

NASA Technologies Spin off to Fight Climate Change

Space exploration, aeronautics research, and Earth science yield technologies for curbing and understanding global warming.

READ MORE

Stay Connected

Latest from Twitter

The 2021 Northern Hemisphere fire season is underway. 🔥 Whether sparked by lightning, intentional land-clearing,...
<https://t.co/kwvaZKzu75>

Get the Newsletter

enter email

Earth Headlines

Robotic Navigation Tech Will Explore the Deep Ocean

NASA Satellites Detect Signs of Volcanic Unrest Years Before Eruptions

Economics of Nature: Mapping Liberia's Ecosystems to Understand Their Value

Facts
Evidence
Causes
Effects
Scientific Consensus
Vital Signs
Questions (FAQ)

Articles
News and Features
Blog

Solutions
Earth Science in Action
Mitigation and Adaptation
Sustainability and Government Resources

Explore
Images of Change
Earth Minute Videos
Interactives
Mobile Apps
Beautiful Earth Gallery
Earth 360

Resources
Graphics and Multimedia
For Educators
For Media
Climate Kids
Global Warming vs. Climate Change
En español

NASA Science
Science Mission Directorate
Data Pathfinders
Earth System Science
Earth Science Missions
History
People

Figura 116 – “NASA Global Climate Change”.

Fonte: <https://climate.nasa.gov/>

O segundo recurso *online*, o mais importante de todos, é o do próprio IPCC The Intergovernmental Panel on Climate Change (Figura 117, abaixo), <https://www.ipcc.ch/>, onde está TUDO, o “estado da arte” da investigação acerca do tema: os relatórios, especiais e metodológicos (e.g. “The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate”, “Global Warming of 1.5 °C”, “Climate Change and Land”, “Aviation and the Global

Atmosphere", "Methodology Report on Short-Lived Climate Forcers", "2006 Guidelines for National Greenhouse GAs Inventories"), os relatórios de síntese (cinco relatórios desde 1990), os grupos de trabalho (WG I – "physical scientific basis of the climate system and climate change" WG II – "vulnerability of socio-economic and natural systems to climate change, negative and positive" e WG III – "mitigating climate change through limiting or preventing greenhouse gas emissions", actividades, notícias e calendário. Há também *links* e possibilidade de seguir o IPCC em várias redes sociais: Facebook, Twitter, YouTube, LinkedIn, Instagram e Vimeo.

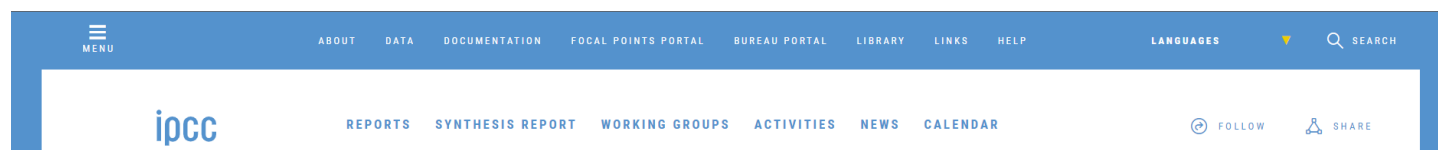


Figura 117 – "IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change".

Fonte: <https://www.ipcc.ch/>

Neste momento, segunda metade de Julho de 2021, o IPCC está no seu sexto ciclo de avaliação, estando a preparar o AR6 Synthesis Report (SYR) (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>), que deverá estar finalizado em Setembro de 2021, baseado (não exclusivamente) no, quanto a mim mais importante (neste contexto), AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>), que deverá estar concluído em Agosto de 2021. Estes documentos serão, desculpem o anglicismo, o *benchmark* a partir de agora, em termos de alterações climáticas. Mas, enquanto não está disponível a versão definitiva, o imprescindível é "Climate Change 2013: The Physical Science Basis" (Figura 118, abaixo), <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.

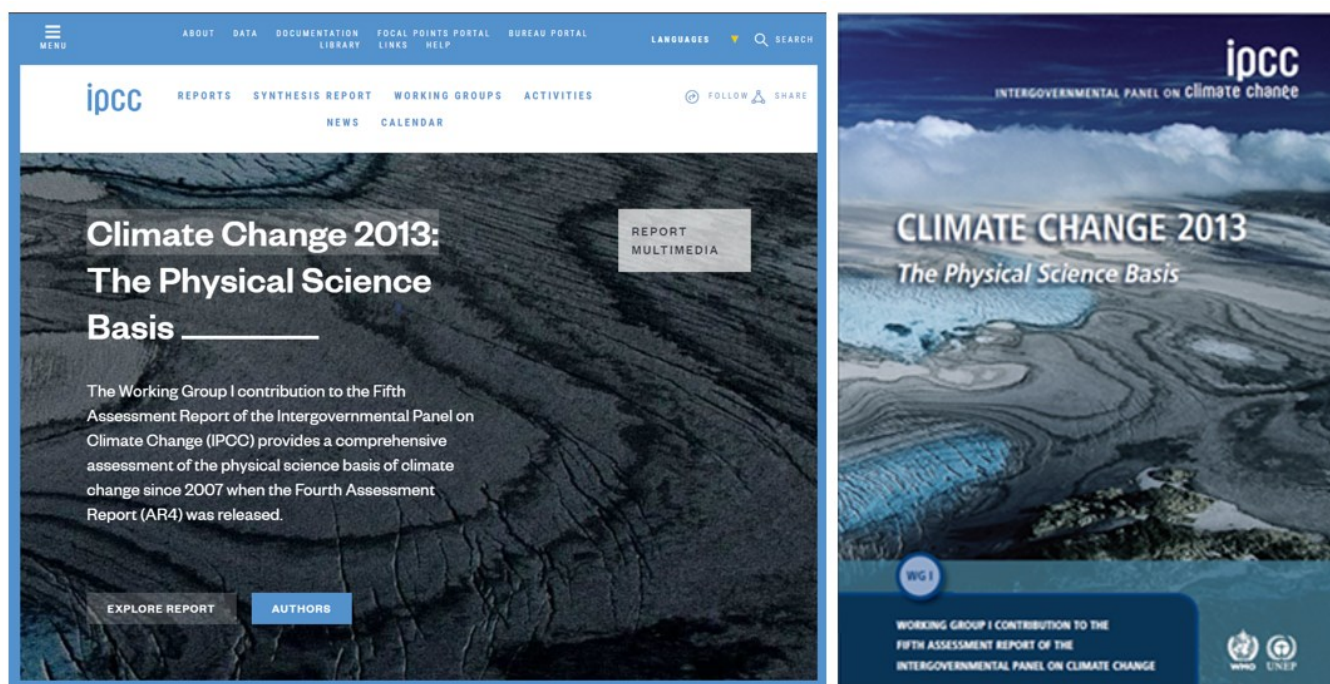


Figura 118 – "Climate Change 2013: The Physical Science Basis".

Fonte: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Este relatório tem 1552 páginas e capítulos para cada um dos domínios: observações (atmosfera, superfície, oceano e criosfera), informações de paleoclimas, ciclos do carbono e biogeoquímicos, nuvens e aerossóis, "forçamento" antropogénico, avaliação dos modelos climáticos, detecção e atribuição de mudanças climáticas (global ao regional), projecções e previsibilidade a curto prazo, projecções compromissos e irreversibilidade (longo prazo), mudanças do nível do mar, fenómenos climáticos e a sua relevância para as alterações climáticas futuras a nível regional.

Mas, o mais importante, é que cada capítulo está disponível para descarregar separadamente, ou só a infografia, bem como o sumário técnico e o sumário para decisores políticos (se não lerem mais nada, leiam este, tem 28 páginas, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf). Existem, para descarregar separadamente, anexos: atlas das projecções climáticas globais e regionais, tabelas cenário do sistema climático, glossário, acrónimos, além de uma *fact sheet*, questões e um poster resumo. O relatório completo inclui, naturalmente, todos estes conteúdos, mas há muito mais coisas no sítio, incluindo uma apresentação sobre o relatório.

Desde 9 de Agosto de 2021, está disponível o “AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis” (Figura 119, abaixo), ainda não na forma definitiva e aberto para edição, em <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>, podendo-se descarregar o sumário para decisores (SPM), o sumário técnico (TS), FAQ, o relatório completo (3949 páginas) e aceder a um Atlas Interactivo fantástico, onde se explorar os dados de observações, projecções, etc. <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

ipcc
Sixth Assessment Report
IPOO Home

AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis

The Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report addresses the most up-to-date physical understanding of the climate system and climate change, bringing together the latest advances in climate science, and combining multiple lines of evidence from paleoclimate, observations, process understanding, and global and regional climate simulations.

Disclaimer: The Summary for Policymakers (SPM) is the approved version from the 14th session of Working Group I and 54th Session of the Intergovernmental Panel on Climate Change and remains subject to final copy-editing and layout.

The Technical Summary (TS), the full Report Chapters, the Annexes and the Supplementary Materials are the Final Government Distribution versions, and remain subject to revisions following the SPM approval, corrigenda, copy-editing, and layout.

SUMMARY FOR POLICYMAKERS (SPM)	INTERACTIVE ATLAS
TECHNICAL SUMMARY (TS)	FREQUENTLY ASKED QUESTIONS (FAQs)
FULL REPORT	REGIONAL FACT SHEETS
ERRATA	DATA ACCESS

Changing by the artist Alisa Singer
"As we witness our planet transforming around us we watch, listen, measure ... respond."

Figura 119 – “AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis”.

Fonte: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

O recurso seguinte é o “Fourth National Climate Assessment (NCA4), “U.S. Global Change Research Program (USGCRP)” (Figura 120, abaixo), <https://science2017.globalchange.gov/>. Embora seja mais orientado para os E.U.A, tendo aparecido, também, como resposta ao negacionismo e sabotagem institucional da administração anterior, relativamente às alterações climáticas, tem muitos dados globais e mais actualizados, estando muito orientado para as catástrofes naturais e sua ligação às alterações climáticas, de uma forma muito interessante.

Climate Science Special Report
Fourth National Climate Assessment (NCA4), Volume I

Executive Summary

Ch. 1: Our Globally Changing Climate

Ch. 2: Physical Drivers of Climate Change

Ch. 3: Detection and Attribution of Climate Change

Ch. 4: Climate Models, Simulations, and Projections

Ch. 5: Large-Scale Circulation and Climate Variability

Ch. 6: Temperature Changes in the United States

Ch. 7: Precipitation Change in the United States

Ch. 8: Droughts, Floods, and Wetlands

Ch. 9: Extreme Storms

Ch. 10: Changes in Land Cover and Technical Biogeosciences

U.S. Global Change Research Program
CLIMATE SCIENCE SPECIAL REPORT
Fourth National Climate Assessment | Volume I

Figura 120 – “Climate Science Special Report”.

Fonte: <https://science2017.globalchange.gov/>

Segue-se um documento recente, “State of the Global Climate 2020” (WMO - No. 1264, Figura 121, abaixo), https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21880, produzido pela WMO – Organização Meteorológica Internacional, <https://public.wmo.int/en>, onde existe uma quantidade enorme de informação, da mais alta qualidade. Neste relatório já é feita a relação entre indicadores climáticos e os SDG – Sustainable Development Goals ⁽³⁷⁾, (Figura 122, abaixo, Objectivos de Desenvolvimento Sustentável, <https://sdgs.un.org/goals>), tão importantes, actuais e na ordem do dia, que não podiam deixar de ser relacionados com as alterações climáticas, cujos indicadores estão muito bem identificados no esquema.



Figura 121 – “State of the Global Climate 2020”.

Fonte: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21880

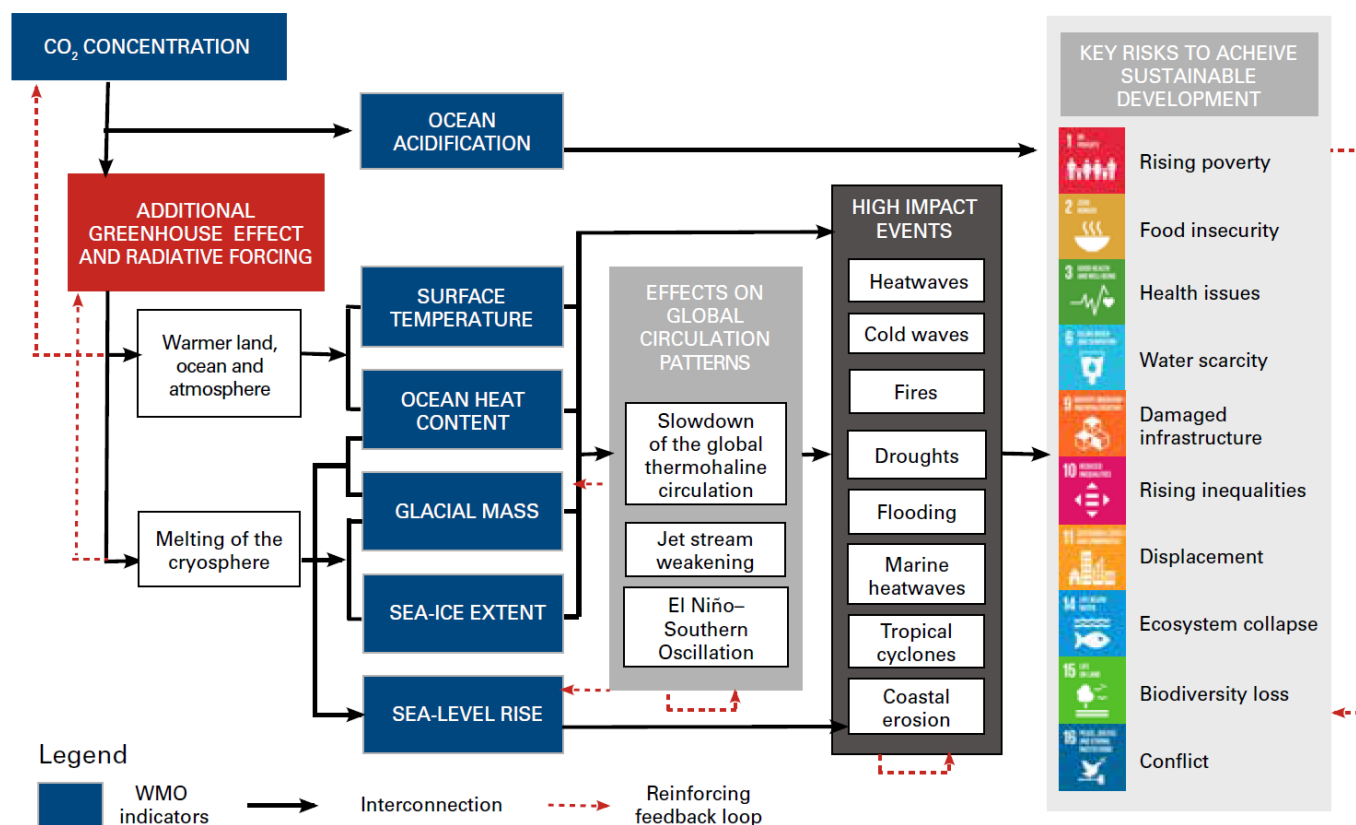


Figura 122 – “Selected climate change-related risks to the achievement of the SDGs”.

Fonte: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21880

³⁷ - https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_Development_Goals

Em termos de relatórios, juntaria ainda dois outros, um da WMO “The global climate 2011-2015” (Figura 123, abaixo), <https://unfccc.int/files/science/> e outro do IPCC “Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate – Summary for Policymakers” (Figura 123, abaixo), <https://www.ipcc.ch/site/assets/>, o relatório completo e todo o material estão disponíveis em: <https://www.ipcc.ch/srocc/>.



Figura 123 – “The global climate 2011-15” e “The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate”.

Fonte: <https://unfccc.int/files/science/> e <https://www.ipcc.ch/site/assets/>

Em termos de relatórios obrigatórios, destacam-se dois da Agência Europeia do Ambiente (quase 1000 páginas no total), “Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016” (Figura 124, abaixo), <https://www.eea.europa.eu/> e o muito recente The “European environment — state and outlook 2020” (Figura 124, abaixo), <https://www.eea.europa.eu/publications/soer-2020>.

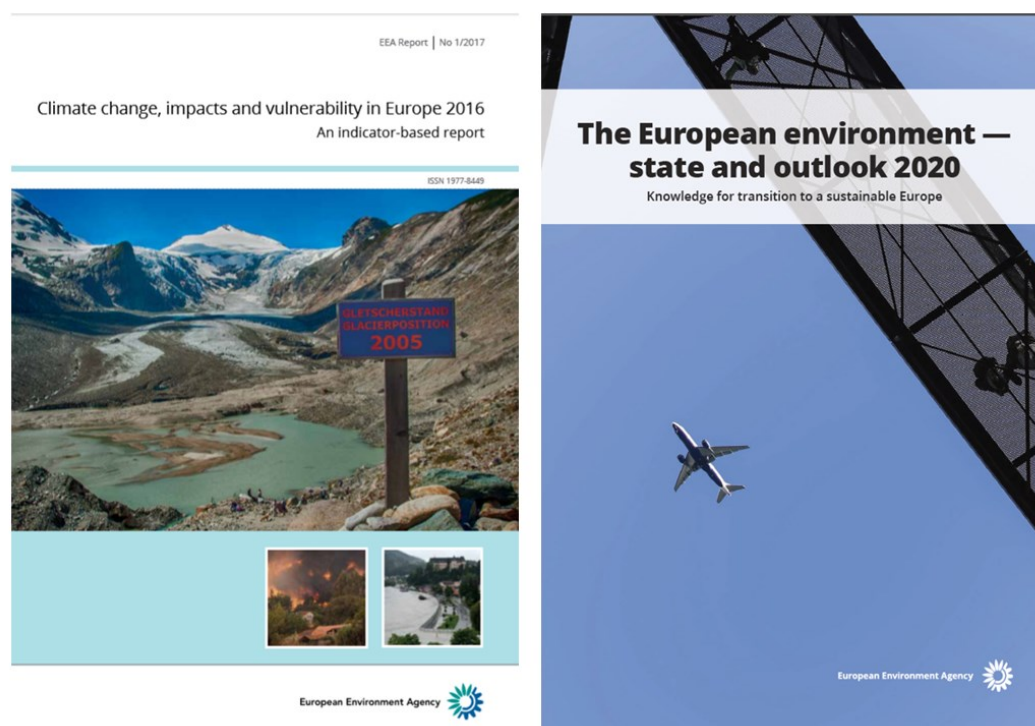


Figura 124 – “Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016”, e The European environment — state and outlook 2020.

Fonte: <https://www.eea.europa.eu/> e <https://www.eea.europa.eu/publications/soer-2020>

Outro relatório com muito interesse, neste caso o sumário, “European State of the Climate 2020”, <https://climate.copernicus.eu/>, compilado pelo Copernicus Climate Change Service (C3S) (Figura 125, abaixo), mas que não dispensa, de forma alguma, a exploração do sítio de internet do Serviço de Alterações Climáticas (C3S), <https://climate.copernicus.eu/esotc/2020?q=esotc/2020-nl> (Figura 125, abaixo, à direita), com dados globais e para a Europa, além de vários outros recursos, como apresentações, animações, boletins de dados, etc.



Figura 125 – “European State of the Climate 2020”.

Fonte: <https://climate.copernicus.eu/>

Sítio respectivo, <https://climate.copernicus.eu/esotc/2020?q=esotc/2020-nl>.

Um dos aspectos mais interessantes é a abordagem recorrendo a variáveis e indicadores, consequência das alterações climáticas que se estão a registar: temperatura, *stress* de calor e frio, temperaturas à superfície dos lagos, nuvens e duração das horas de sol, precipitação, humidade do solo, caudal dos rios, fogos, Invernos quentes, ondas de calor, transição dum Inverno húmido para uma Primavera seca e, especificamente, a tempestade Alex, que atingiu a Europa em 2020 (Figura 126, abaixo). Relembro que se pode “forçar” esta informação a chegar a nós, através de múltiplos canais de redes sociais.

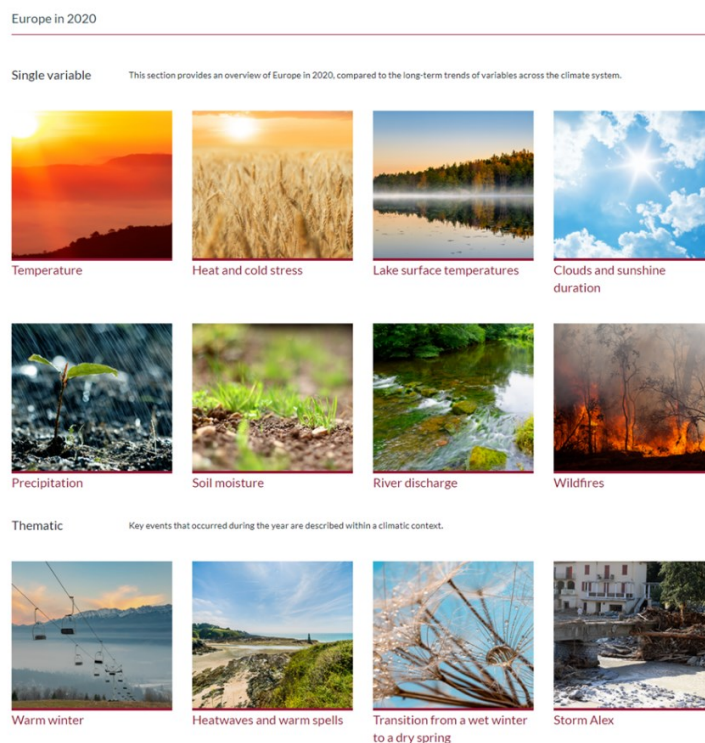


Figura 126 – “Europa em 2020, indicadores, comparação com tendências de longo prazo de variáveis do sistema climático”.

Fonte: <https://climate.copernicus.eu/esotc/2020?q=esotc/2020-nl>

Embora seja uma fonte muito mais abrangente, não posso deixar de chamar a atenção e sugerir, novamente, uma aprofundada e longa exploração dos materiais disponíveis, no sítio do Copernicus, o programa da União Europeia para observação da Terra, <https://www.copernicus.eu/pt-pt/acerca-do-copernicus> (Figura 127, abaixo). Como se pode ver, informação relativa às alterações climáticas são um dos serviços que o Copernicus fornece, mas há muito mais para explorar, muita informação da mais elevada qualidade, actualizada, em muitos casos com materiais vários disponíveis em português. Não querendo prolongar ou aprofundar, destaco os serviços ligados a emergências, onde há informação quase em tempo real sobre incêndios (websig), cheias e secas, <https://emergency.copernicus.eu/> (Figura 128, abaixo à esquerda), destacando e sugerindo explorarem o EFIS - European Forest Fire Information System, <https://effis.jrc.ec.europa.eu/> e o seu websig – Cuurent situation viewer, <https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/> (Figura 128, abaixo, à direita).

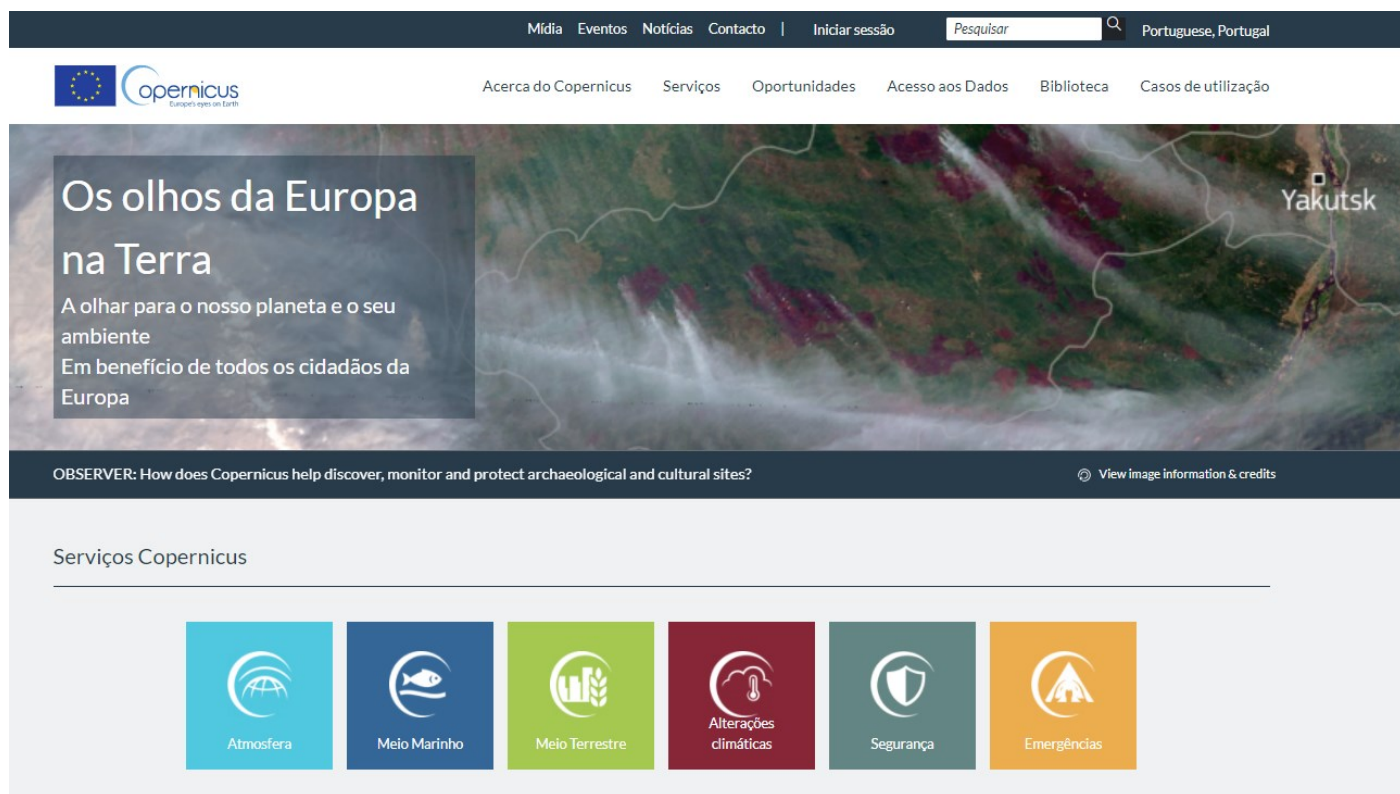


Figura 127 – Copernicus, os olhos da Europa na Terra.

Fonte: <https://www.copernicus.eu/pt-pt>

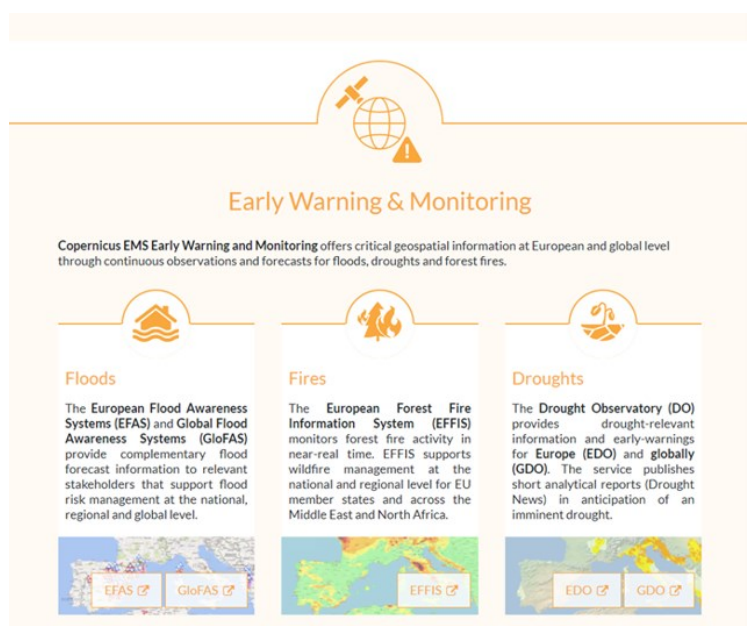


Figura 128 – “Copernicus Early Warning and Monitoring” e EFFIS.

Fonte: <https://emergency.copernicus.eu/> e https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis_current_situation/

Outro sítio de internet com muita informação, relatórios, infografia é o da NOAA – “National Oceanic and Atmospheric Administration”, onde são disponibilizados (e arquivados) os relatórios mensais e anuais do clima global, <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013> (Figura 129, abaixo). Além de anomalias significativas, neste caso para o no 2020, é feita uma análise e apresentados dados e infografia vária, cartografia incluída, para: temperaturas globais e recordes, anos mais quentes, temperaturas regionais por continente, precipitação e teor de calor nos oceanos.

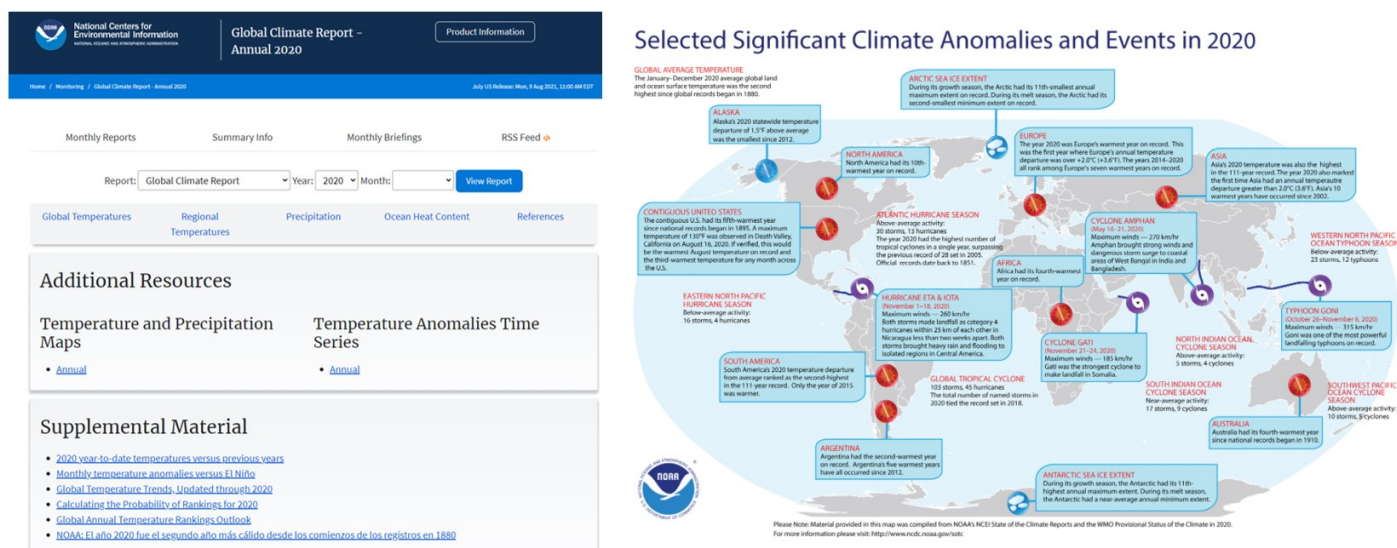


Figura 129 – “NOAA Global Climate Report 2020”

Fonte: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>

Outra fonte, da mesma agência dos E.U.A., é a “NOAA – Climate”, <https://www.climate.gov/>, com muita informação, que também pode ser seguida no Facebook, <https://www.facebook.com/NOAAClimateGov/> (Figura 130, abaixo). Muitas das instituições e organizações que vou referir, de aqui em diante, estão também presentes, geralmente, em várias redes sociais, essa informação costuma estar no fim das páginas ou em lugar bem visível, mas como somente tenho conta no Facebook e exclusivamente por essa razão, serão as únicas apresentadas.



Figura 130 – “NOAA Climate”.

Fonte: <https://www.climate.gov/> e <https://www.facebook.com/NOAAClimateGov/>

A fonte que se segue, “Climate Central”, <https://www.climatecentral.org/> (Figura 131, abaixo), também disponível no Facebook, <https://www.facebook.com/climatecentral/>, tem muita informação, uma galeria de mapas, gráficos, infografia interactiva, bem como vídeos, embora seja bastante orientada para os E.U.A.. A NASA também uma página específica, dedicada às alterações climáticas, já referida atrás, “NASA Global Climate Change”, <https://climate.nasa.gov/> (Figura 132, abaixo), também disponível no Facebook <https://www.facebook.com/>.

Segue-se a página das Nações Unidas, dedicada às alterações climáticas, <https://unfccc.int/> (Figura 133, abaixo), Facebook, <https://www.facebook.com/UNclimatechange/> e a página da Comissão Europeia, ligada a Energia, Alterações Climáticas e Ambiente, <https://ec.europa.eu/> (Figura 134), abaixo), no Facebook, <https://www.facebook.com/EUClimateAction/>, onde se pode encontrar muita informação ligada a políticas

(e.g. o Green Deal), estratégias e objectivos, o sistema de comércio de emissões e muito mais, merece uma boa exploração, até porque é da União Europeia que emanam a legislação, os fundos e os planos. Aconselho, vivamente, a leitura atenta do “Pacto Ecológico Europeu”, que nos está a “guiar” neste momento, disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/resource.html> e anexos, <https://eur-lex.europa.eu/resource.html>.

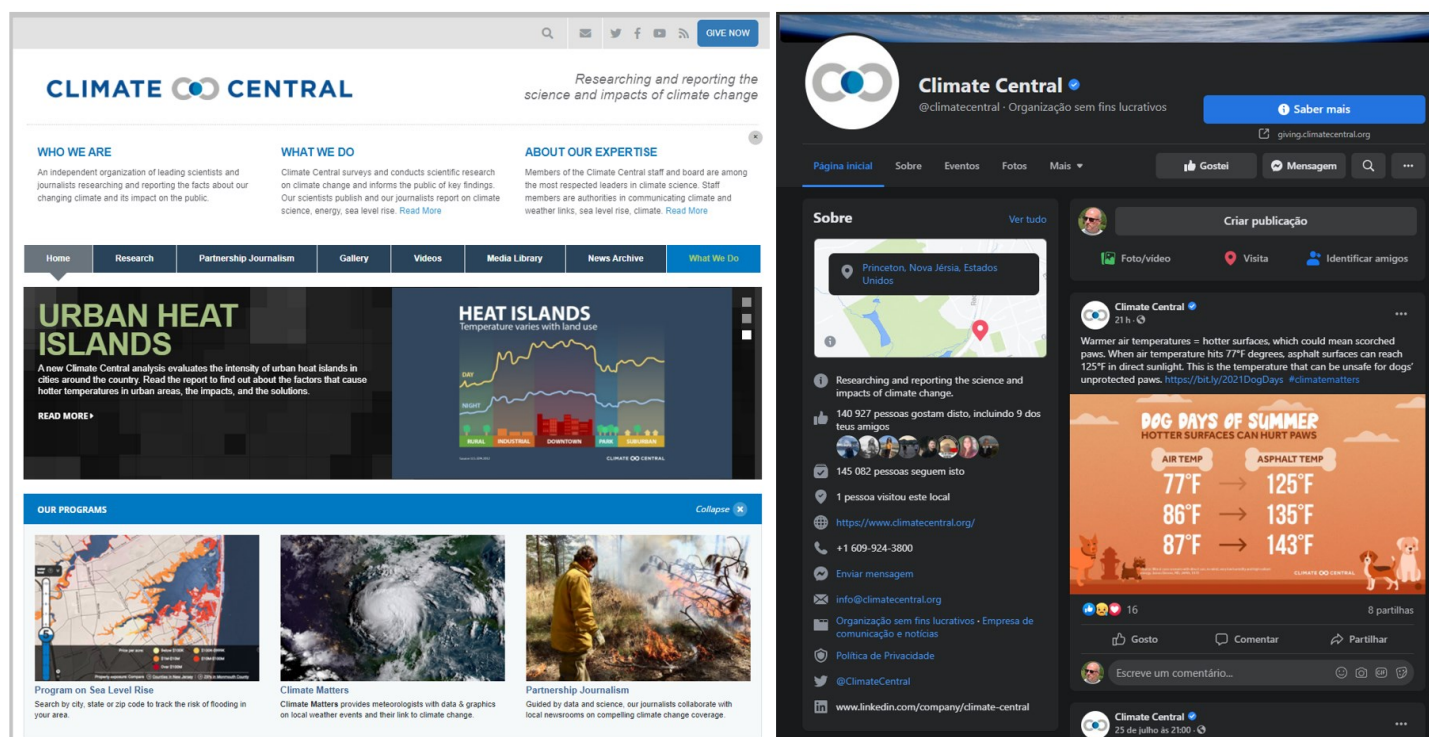


Figura 131 – “Climate Central”.

Fonte: <https://www.climatecentral.org/> e <https://www.facebook.com/climatecentral/>

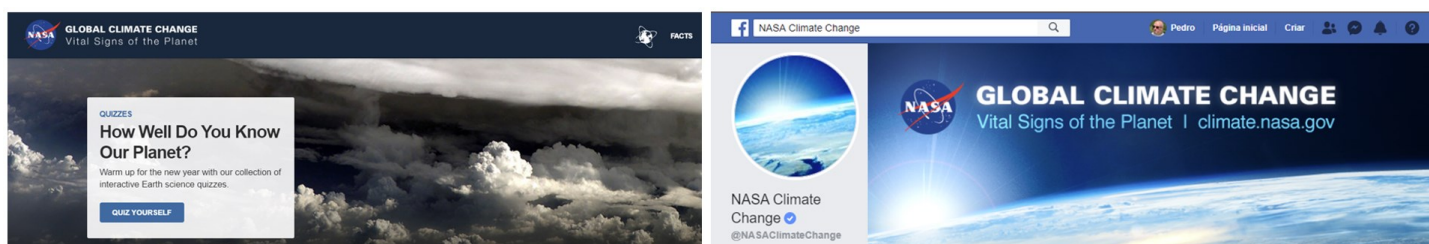


Figura 132 – “NASA Global Climate Change”.

Fonte: <https://climate.nasa.gov/>, <https://www.facebook.com/NASAClimateChange/>

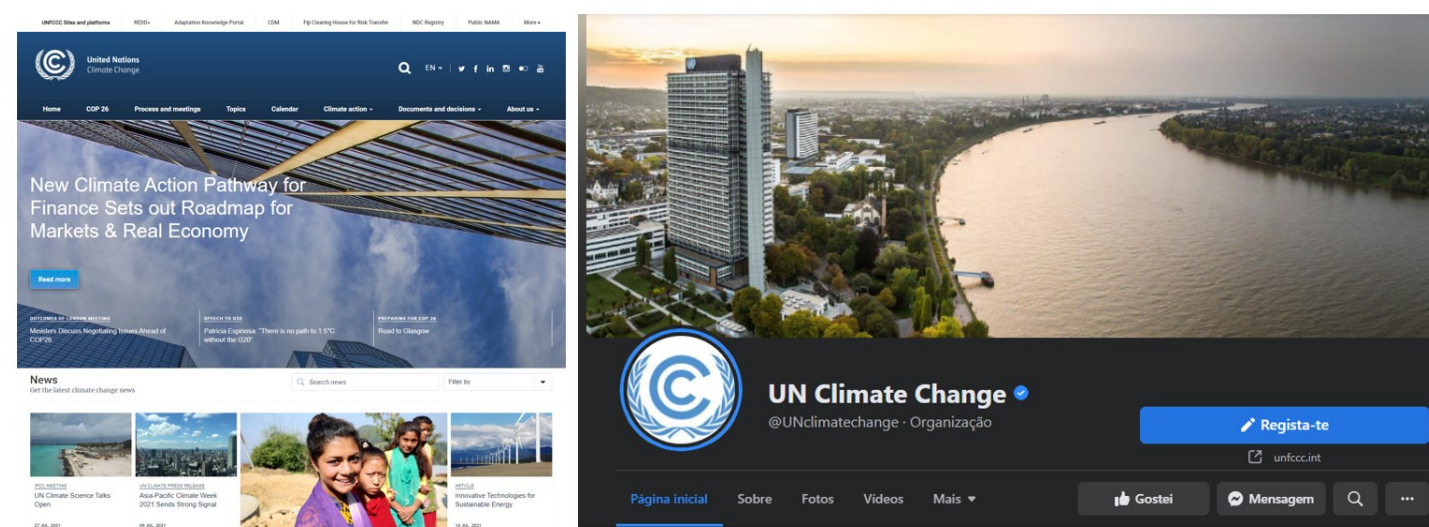
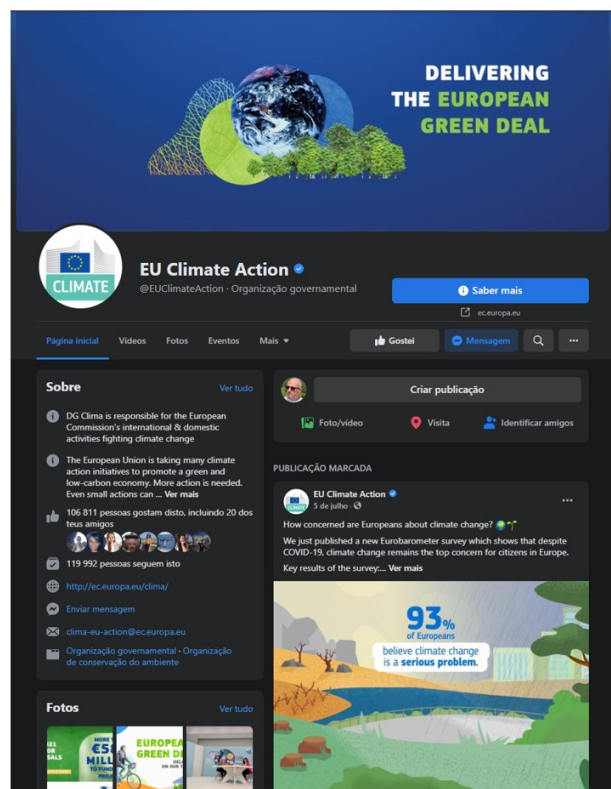
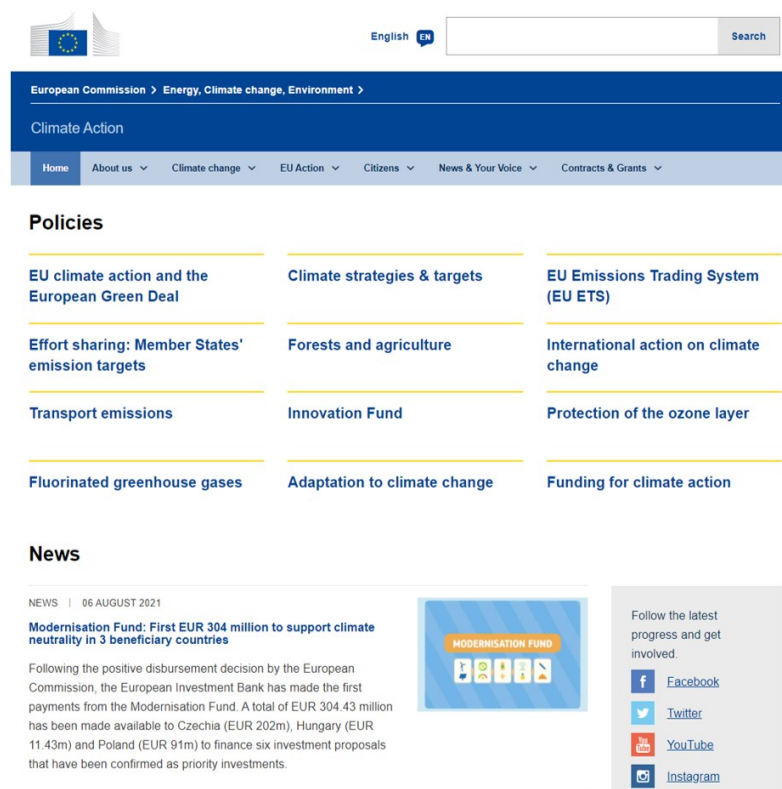


Figura 133 – “United Nations – Climate Change”.

Fonte: <https://unfccc.int/>, <https://www.facebook.com/UNclimatechange/>

Relembro, novamente, que as fontes apresentadas e sugeridas não são, nem pretendem ser, exaustivas, são uma escolha, pela importância, qualidade, actualidade, regularidade de posts e nova informação e, sobretudo, conteúdos vários de dados e infografia, que podem ajudar a preparar e leccionar conteúdos desta temática. Continuando a apresentação, neste caso para duas fontes relativas à criosfera, o “National Snow and Ice Data Center”, <https://nsidc.org/> (Figura 135, abaixo), Facebook, <https://www.facebook.com/NSIDC/>, fonte fantástica de informação sobre neve, gelo oceânico, calotes polares, permafrost, com muitos dados, cartografia e informação actualizada constantemente. Dentro da mesma temática existe também, pertencendo à WMO, Organização Meteorológica Mundial, o “Global Cryosphere Watch”, <https://globalcryospherewatch.org/> (Figura 136, abaixo), Facebook, <https://www.facebook.com/GlobalCryosphere-Watch-282510661879119/>, fonte também riquíssima em dados, observações e infografia.



Bruxelas, 11.12.2019
COM(2019) 640 final

Bruxelas, 11.12.2019
COM(2019) 640 final
ANNEX

COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU, AO CONSELHO EUROPEU, AO CONSELHO, AO COMITÉ ECONÓMICO E SOCIAL EUROPEU E AO COMITÉ DAS REGIÕES

Pacto Ecológico Europeu

ANEXO

da

COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU, AO CONSELHO EUROPEU, AO CONSELHO, AO COMITÉ ECONÓMICO E SOCIAL EUROPEU E AO COMITÉ DAS REGIÕES

Pacto Ecológico Europeu

Figura 134 – Comissão Europeia, Alterações Climáticas e Ambiente e respectiva página do Facebook, Pacto Ecológico Europeu e anexos.

Fonte: https://ec.europa.eu/clima/index_en, <https://www.facebook.com/EUClimateAction>, <https://eur-lex.europa.eu/resource.html>, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0008.02/DOC_2&format=PDF

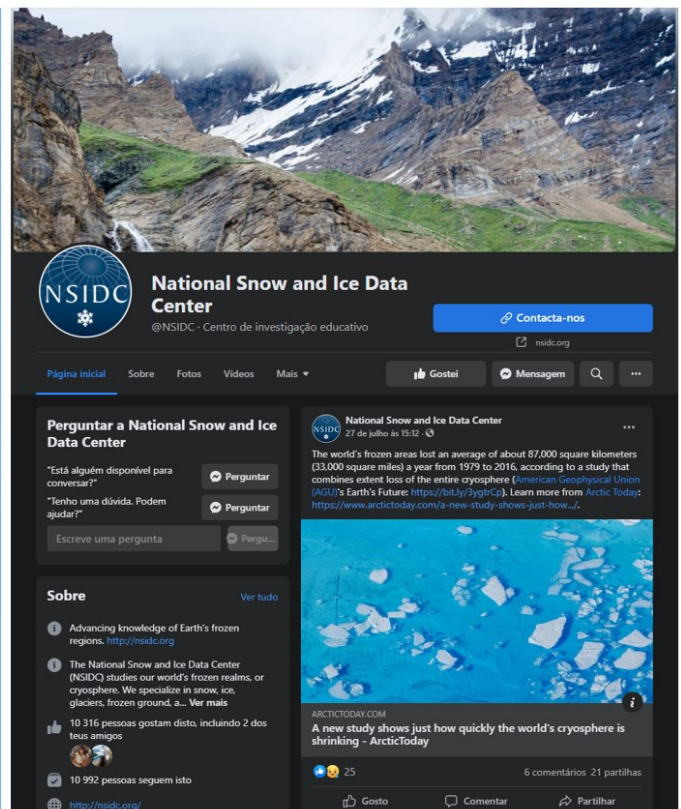
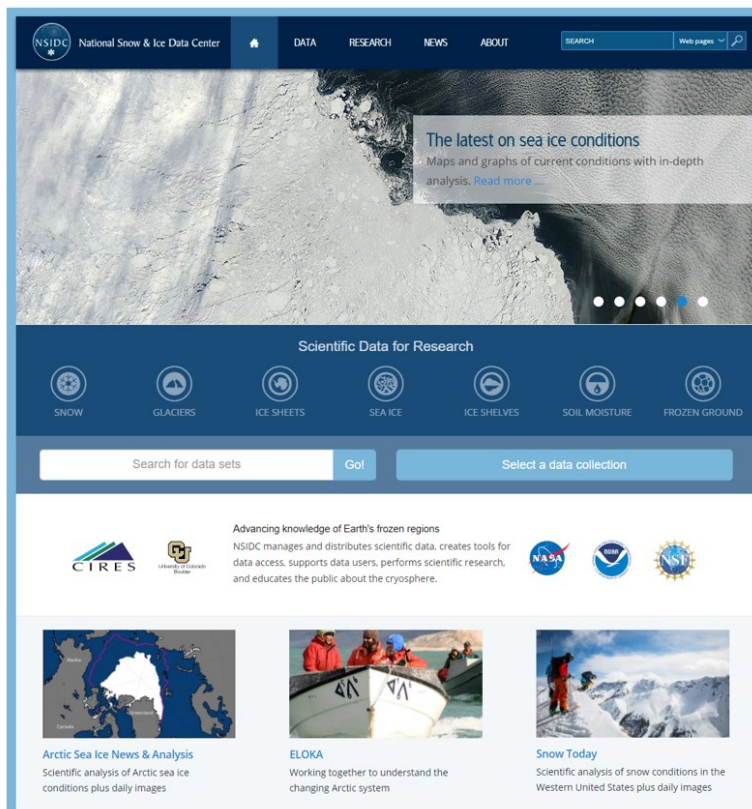


Figura 135 – “NSIDC, National Snow and Ice Data Center”.
 Fonte: <https://nsidc.org/>, <https://www.facebook.com/NSIDC/>



Figura 136 – “Global Cryosphere Watch”.
 Fonte: <https://globalcryospherewatch.org/> e <https://www.facebook.com/Global-Cryosphere-Watch-282510661879119/>

Também ligado à criosfera, mas igualmente com dados relativos ao mar e à subida no seu nível, em consequência do degelo resultante do aquecimento global, a NASA tem o “Explore Earth, Water, Oceans and Ice”, <https://www.nasa.gov/content/water-and-ice> (Figura 137, abaixo), no Facebook, especificamente acerca da subida do nível do mar, <https://www.facebook.com/sealevelNASA/>. A NASA tem, também, um sítio específico, com muito mais informação, dados e materiais, sobre observação do espaço da subida do nível do mar, que merece uma visita e exploração, “NASA Sea Level Change – Observations from Space”, <https://sealevel.nasa.gov/> (Figura 138, abaixo).

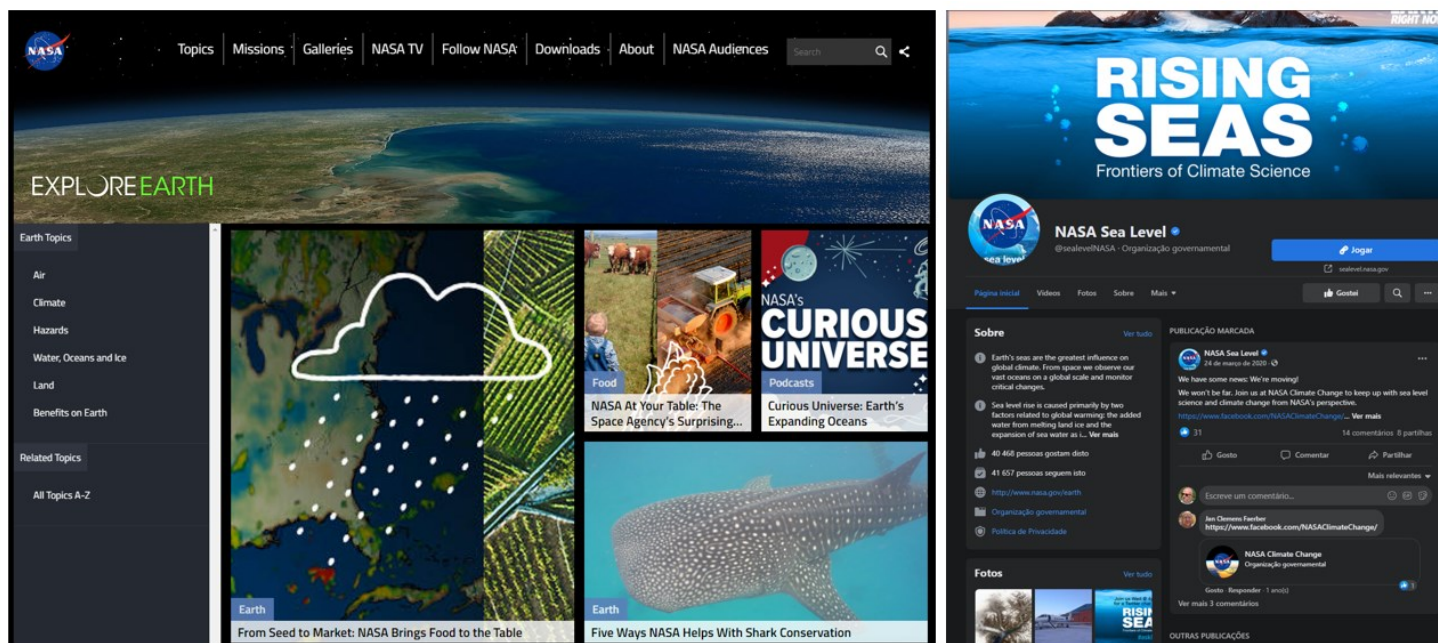


Figura 137 – “NASA - Explore Earth, Water, Oceans and Ice”.

Fonte: <https://www.nasa.gov/content/water-and-ice>, <https://www.facebook.com/sealevelNASA/>

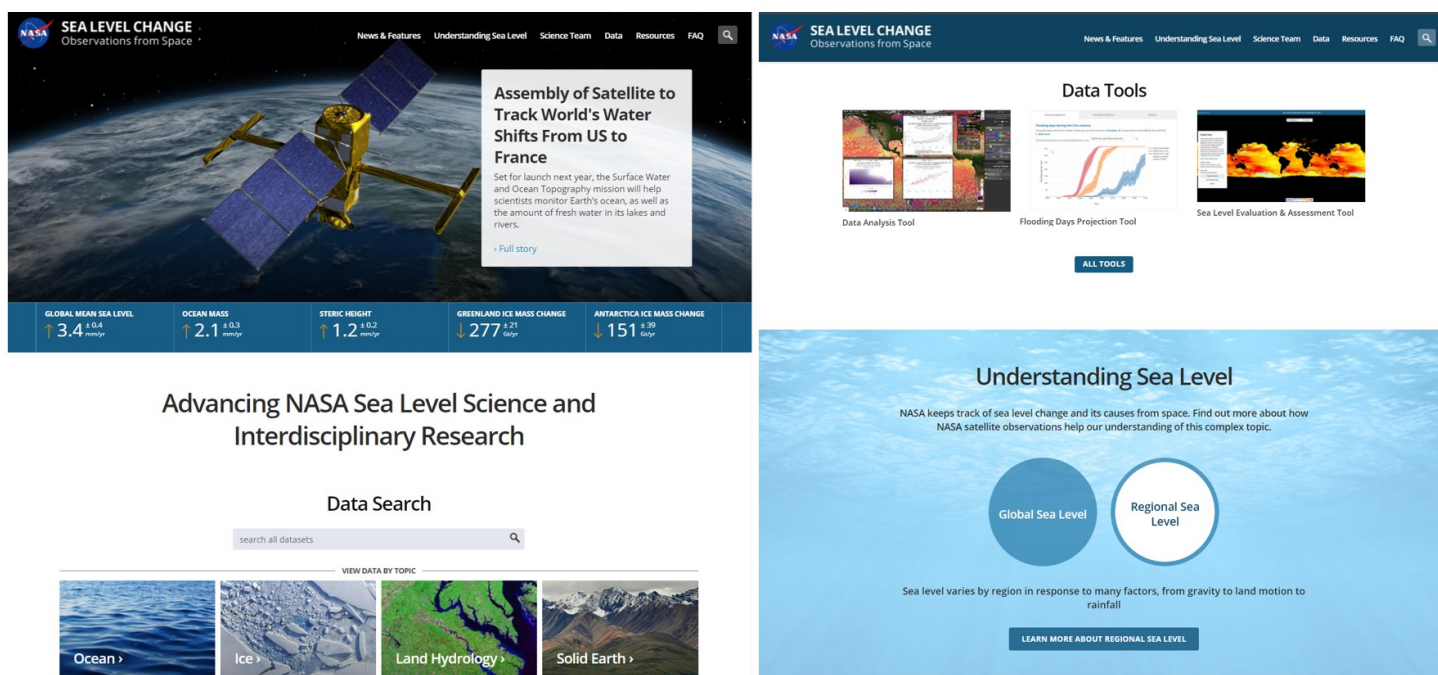


Figura 138 – “NASA Sea Level Change – Observations from Space”.

Fonte: <https://sealevel.nasa.gov/>

Existe também muita e boa informação em Portugal, por vezes pouco explorada, passaremos então a essas fontes, começando pela fonte central, o IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera, <https://www.ipma.pt/pt/index.html>, sítio de internet incontornável, mas que tem bastante mais informação do que se pensa, está regulamente a ser melhorado e a ter mais informação disponível e que, portanto, sem querer aprofundar demasiado, gostaria de introduzir, nos seus vários aspectos.

Como se pode ver (Figura 139, abaixo) o IPMA está disponível, para chegar até nós, em várias redes sociais, embora os posts sejam irregulares no tempo. Um dos recursos mais frequentemente utilizados, por todos, é, certamente o “tempo”, onde estão disponíveis: previsões, avisos meteorológicos, cartas meteorológicas, imagens de satélite, radar de chuva, descargas eléctricas, estações meteorológicas online, etc. Há outros grupos de informação, mar, sismos, agricultura (com muita informação e boletins), saúde e fogos rurais (salientei os mais interessantes do ponto de vista da Geografia, mas todos o são). Onde existe mais informação com interesse, que gostaria de relembrar e recomendar, do ponto de vista das alterações climáticas é, naturalmente, no grupo clima (<https://www.ipma.pt/pt/oclima/>, Figura 140, abaixo), os tópicos são (menu à direita na página):

IPMA Quem somos | Onde estamos | Conselho científico | Recrutamento | Projetos | eBiblioteca | Enciclopédia ipma | Contactos | English

Pesquisa ok

Tempo Mar Sismos Clima Bivalves Pescas e aquacultura Aeronáutica Agricultura Saúde Navios Espaço Fogos Rurais

Notícias

praticante a bordo do navio nário ruivo do ipma

Praticante da ENIDH a bordo de Navio do IPMA
2021-07-28

apoio à missão de portugal

© IPMA apoio à Missão Portuguesa aos Jogos Olímpicos Tóquio 2020

IPMA cria website de meteorologia para os Jogos Olímpicos
2021-07-21

baía de sesimbra - julho de 2021

Campanha oceanográfica GROW
2021-07-21

[Ver mais notícias](#)

Previsão diária

Hoje 5ª, 29 Jul Amanhã 6ª, 30 Jul Depois de Amanhã Sáb, 31 Jul

Arq. Açores

Arq. Madeira

Avisos Meteorológicos

Arq. Açores

Arq. Madeira

atualizado a 2021/07/29 13:31

[Previsão descritiva](#) [Previsão localidade](#) [Previsão mensal](#) [Previsão mundo](#)

Bivalves

Consulte interdições 2021-07-28

Consulte interdições

Nível de seca, Continente

Jun
Mai
Abr

Queimas/queimadas PEÇA AUTORIZAÇÃO

#portugalchama

Extremos registados a 2021-07-28

	Max	Min	Max	Max
Reguengos, S. P. do Corval	36.7°			
Castro Verde, N. Corvo	36.7°			
Angra do Heroísmo	26.8°			
Pico (Aeródromo)	26.7°			
Madeira, Calheta	27.6°			
Funchal	26.8°			

Extremos Diários no Continente, Açores e Madeira: Temp. máxima, Temp. mínima, Prec. acumulada, Rajada máxima.

Observar

Fumo incêndios USA e Canadá...

Luis Serpa 17/7/2021

[Consulte mais relatos enviados](#)

Mapas meteorológicos

[Ver mapas de previsão](#)

IPMA multimedia

EPPO em Ação

[+ info](#)

Atividade Sísmica - últim. 7 dias

[+ info](#)

Última imagem de satélite

[Ver dados satélite](#)

GelAVista

[Visite o website](#)

IPMA Escolas

[Conheça-nos](#)

Calculadora FishChoice

[Visite o website](#)

ECMWF

[Visite website do ECMWF](#)

Portal do Clima

[Visite o portal](#)

Media

Notícias
Comunicados
Palestras / formações
Comunicados Imprensa

Redes Sociais

Facebook
Facebook - Açores
Twitter
YouTube
Instagram

Serviços

RSS
Apps Android
Apps Apple
PDA
Produtos e serviços

Informações

Contactos
Links úteis
Bolsas de investigação
Projetos EEA Grants
ECMWF

Sobre o Site

Acessibilidades
Avisos legais
Mapa do site

Projectos WEB

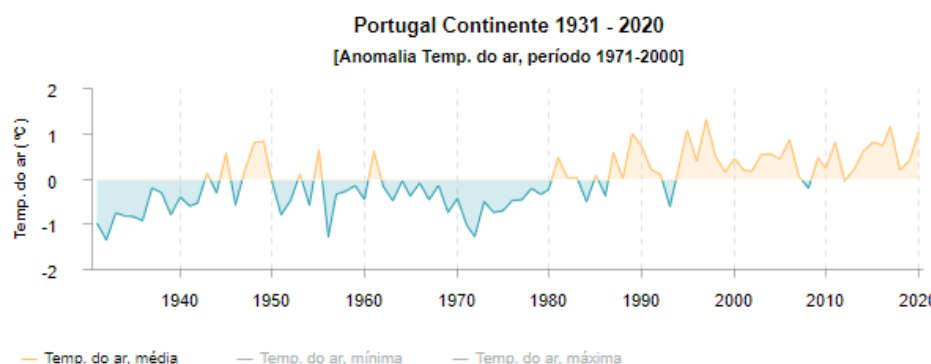
Observar
Subscrições
Inquéritos
E-learning
Shakemap

Lisboa: 14h42m UTC: 13h42m
Copyright © Instituto Português do Mar e da Atmosfera 2021

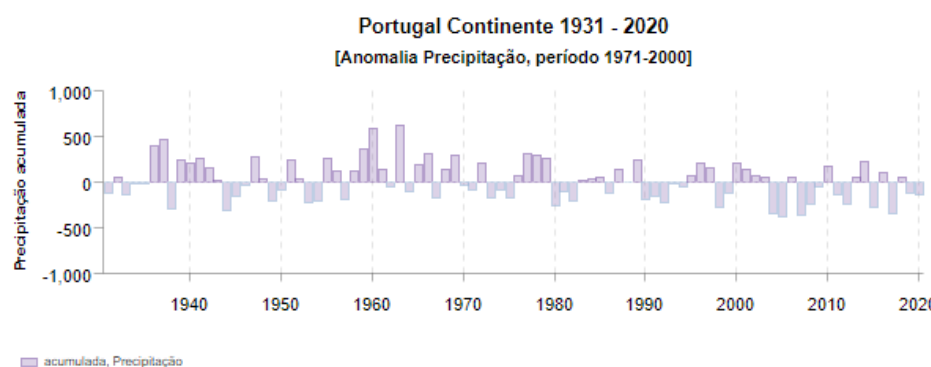
REPUBLICA PORTUGUESA
MAR

Figura 139 – IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

Fonte: <https://www.ipma.pt/pt/index.html>



A série de dados relativa à temperatura do ar no território continental Português foi obtida com recurso a um número de aproximadamente 50 estações, cujas séries de dados foram sujeitas a processos de tratamento e validação bem como homogenização.



A série de dados relativa à precipitação no território continental Português foi obtida com recurso a um número de aproximadamente 50 estações, cujas séries de dados foram sujeitas a processos de tratamento e validação bem como homogenização.

Figura 140 – IPMA, O Clima.

Fonte: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/>

- Acompanhamento do clima – mapas (continente) ou gráficos (NUTS II, sedes distrito), de vários parâmetros (temperatura máxima, média e mínima do ar, insolação e precipitação, valor médio ou anomalia, mensalmente desde 2003 (exemplo na Figura 141, lado esquerdo);
- Extremos climatológicos – Os “recordes”, de vários parâmetros, algo muito perguntado, para o Continente, Madeira e Açores (Figura 141, esquerda em baixo);
- Normais climatológicas – 1971 – 2000, com várias opções de download e um websig (Figura 141, direita);
- Monitorização diária – Websig (Figura 142, à esquerda);
- Monitorização mensal – Resumo climático mensal, com classificação (Figura 142, esquerda em baixo), dados e websig (mesma Figura, à direita);
- Monitorização de seca – Gráficos, cartografia e vários índices (Figura 143, esquerda);
- Boletins climatológicos – Mensal, sazonal e anual, Continente, Madeira e Açores, com explicação das situações sinópticas, valores extremos, classificação, cartografia e muito mais (Figura 143, direita). Também há boletim da seca, nos outros temas há boletim agrícola, risco de incêndio e previsão mensal, boletim sismológico e de actividade sísmica;
- Gases com efeito de estufa – Dados de CO, CO₂ e CH₄, nacionais e internacionais (Figura 144, esquerda);
- Serviços do clima – Portal do clima (ponto seguinte, explorado separadamente), normais, um atlas climático da Península Ibérica (PDF de 80 páginas disponível em <http://www.meteo.pt/resources.www/>);
- Portal do clima – Websig fantástico, interactivo, sobre a adaptação à “Adaptação à Mudança Climática em Portugal”, com séries históricas, alterações climáticas a nível regional e indicadores climáticos para sectores específicos em Portugal” (Figura 145, abaixo).

Ou seja, há imenso material, continuamente actualizado (hora, dia, mês, ano), comparável com dados das normais climatológicas, com gráficos e mapas, um mundo de material didáctico e pedagógico para utilizar, acerca do clima simplesmente ou no contexto das alterações climáticas. O IPMA, pela quantidade e qualidade de informação, pelo esforço constante de disponibilizar cada vez mais informação, de várias formas (também em Inglês), merece o nosso agradecimento e reconhecimento, visitando e explorando *online* constantemente, de uma forma regular e divulgação o mais ampla possível, até por uma questão de e para a cidadania.

- 92 -



Figura 144 – IPMA, informação relativa ao clima, gases de efeito de estufa e serviços do clima.

Fonte: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/>

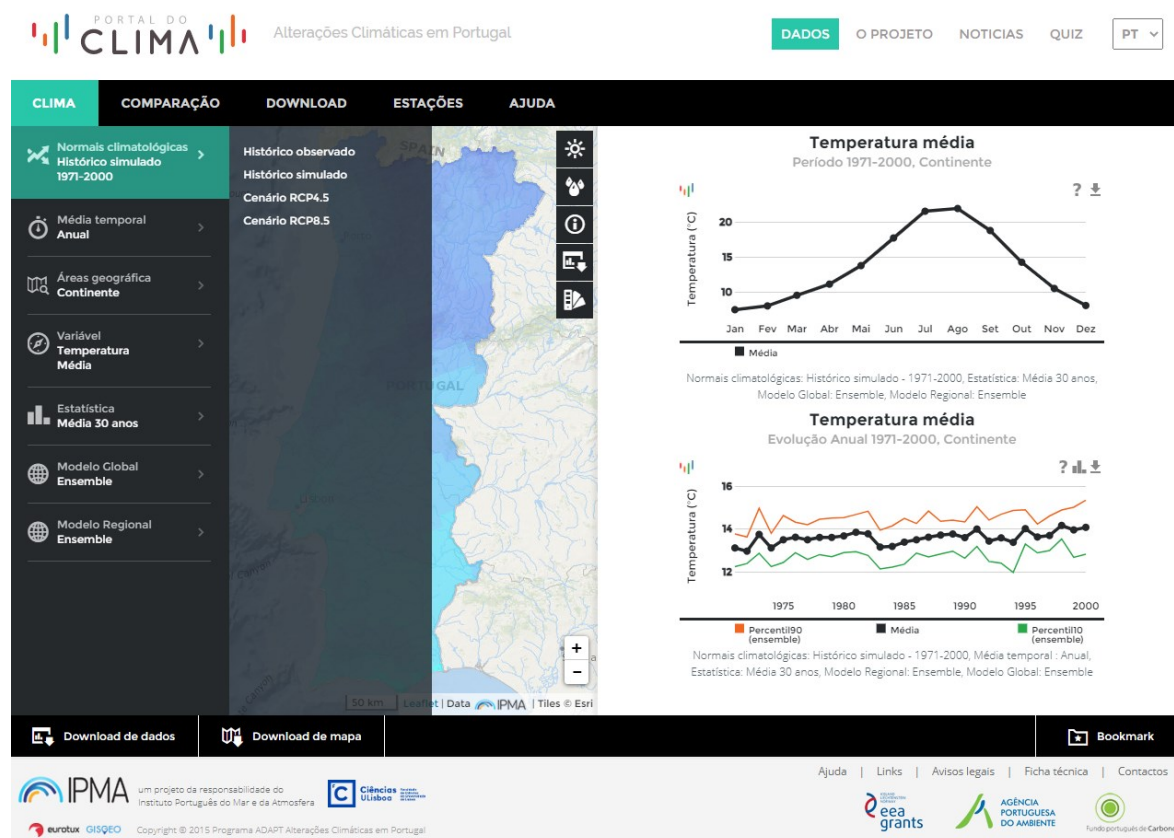


Figura 145 – IPMA, Portal do Clima.

Fonte: <http://portaldoclima.pt/pt/>

No Portal do clima podem-se explorar gráficos e mapas de múltiplas variáveis (temperatura, precipitação, intensidade do vento, humidade relativa, radiação global, amplitude térmica, índice de seca e de aridez, evapotranspiração, índice de risco de incêndio e classificação do clima), dados históricos ou simulados, (exemplo da humidade relativa, Figura 146, à esquerda, abaixo). Muito importante, como se pode ver na parte inferior do portal, é possível fazer o **download** dos dados, da imagem ou do mapa (para utilização em SIG, em vários formatos), podem-se escolher diferentes unidades geográficas (Figura 146, à direita, abaixo). Podem-se comparar dados actuais, históricos ou simulados, lado a lado, para muitos parâmetros, com projecções futuras, de vários modelos, em função das alterações climáticas (Figura 147, abaixo).

Também se podem gerar gráficos, por estações (NUTS II e sede de distrito), para temperatura (máxima, mínima e média) e precipitação, desde 1971, fazendo **zoom** a vários níveis (série total, 30, 60 ou 90 anos para a frente), podendo-se ver o observado, o modelado e os vários cenários futuros, valores mensais (Figura 148, abaixo), sendo que os gráficos são interactivos. As possibilidades são tantas, em termos de dados, gráficos, comparações, estações, que se torna bastante difícil e pouco intuitivo explorar a totalidade do sítio, por essa razão o melhor conselho é começar, mesmo e pacientemente, pela ajuda (na barra superior à direita) e ter alguma paciência até se dominar a “mecânica” e nomenclatura.

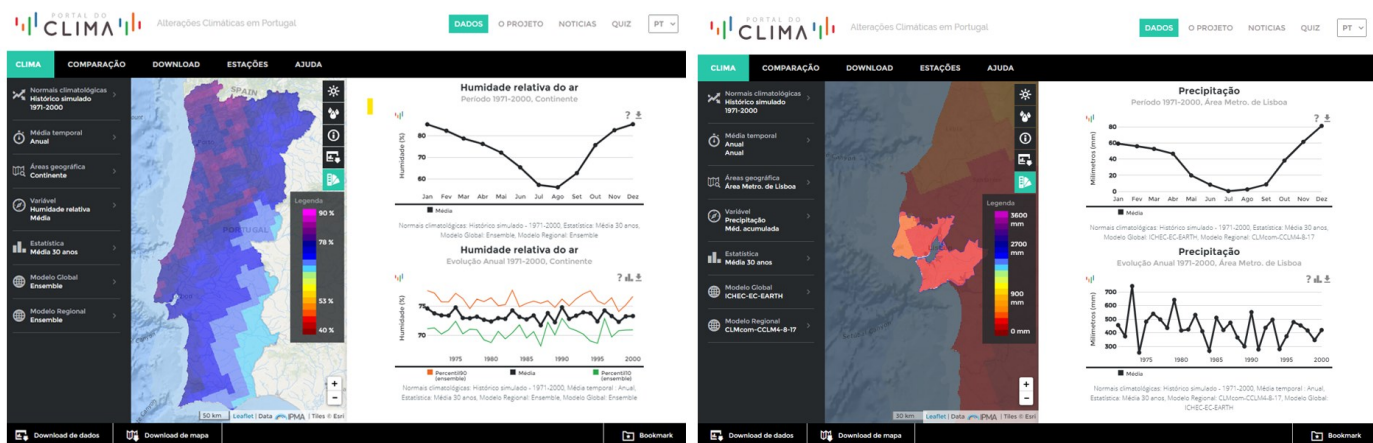


Figura 146 – IPMA, Portal do Clima.

Fonte: <http://portaldoclima.pt/pt/>

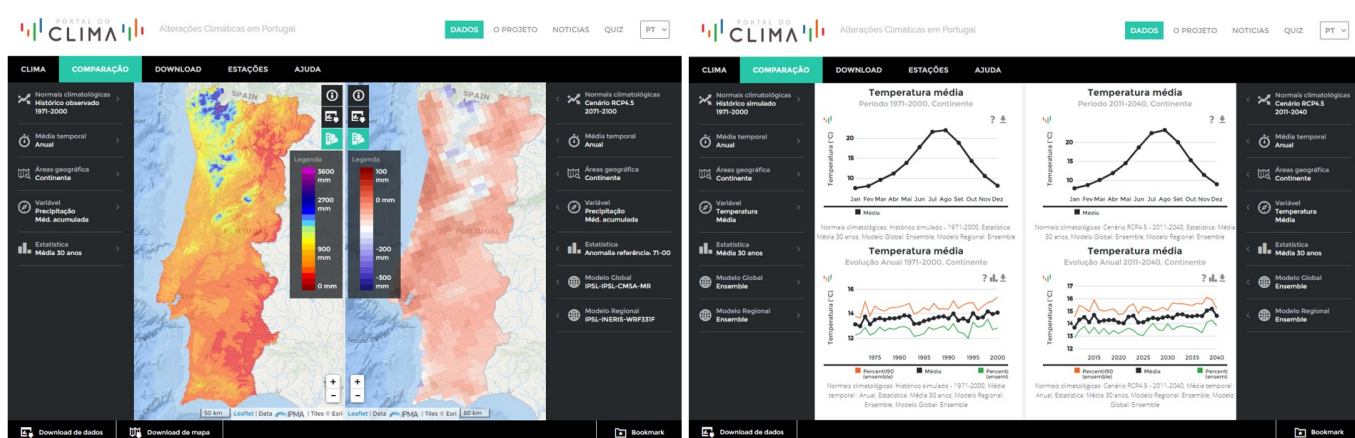


Figura 147 – IPMA, Portal do Clima.

Fonte: <http://portaldoclima.pt/pt/>

ESTAÇÕES

No âmbito da aplicação da informação produzida no projeto "portal do clima" foram processados dados relativos aos cenários climáticos até ao final do séc. XXI para as estações meteorológicas/climatológicas do IPMA instaladas nas capitais Distrito.

Análise anual

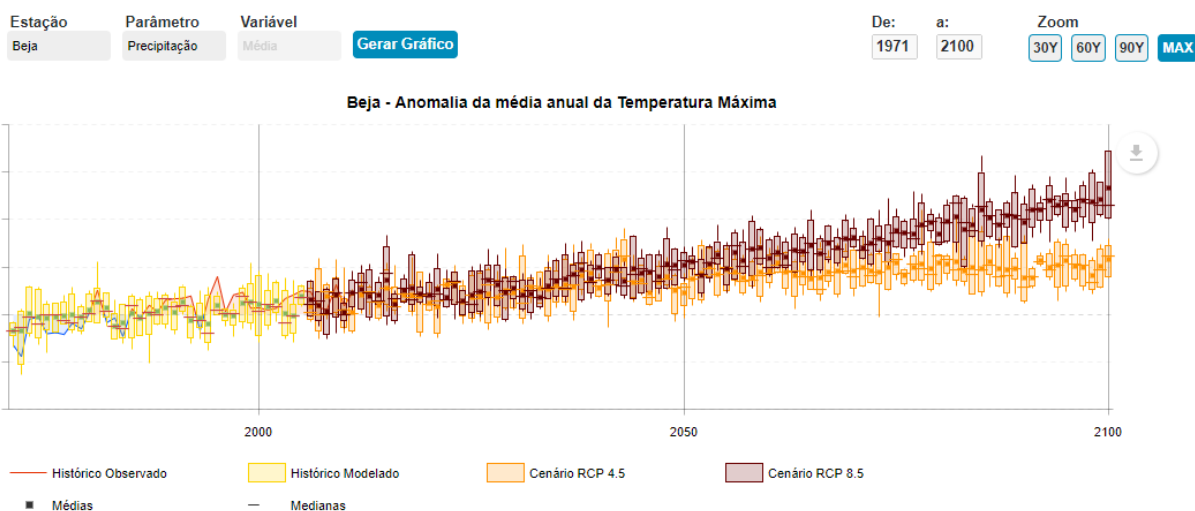


Figura 148 – IPMA, Portal do Clima.

Fonte: <http://portaldoclima.pt/pt/>

Outra fonte de informação é o SNIRH, Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, <https://snirh.apambiente.pt/> (Figura 149, abaixo), onde existe um manancial de informação relacionada com água, dados da rede de monitorização, que podem ser consultados e descarregados em tabela, dados sintetizados, informação sobre aquíferos, entre outras. O sítio merece exploração, mas destaco o websig relativo a zonas inundáveis e risco de inundações, <https://snirh.apambiente.pt/> (Figura 150, esquerda, abaixo), o boletim de armazenamento de albufeiras, <https://snirh.apambiente.pt/> (Figura 150, direita, abaixo) e a monitorização da seca, <https://snirh.apambiente.pt/>.

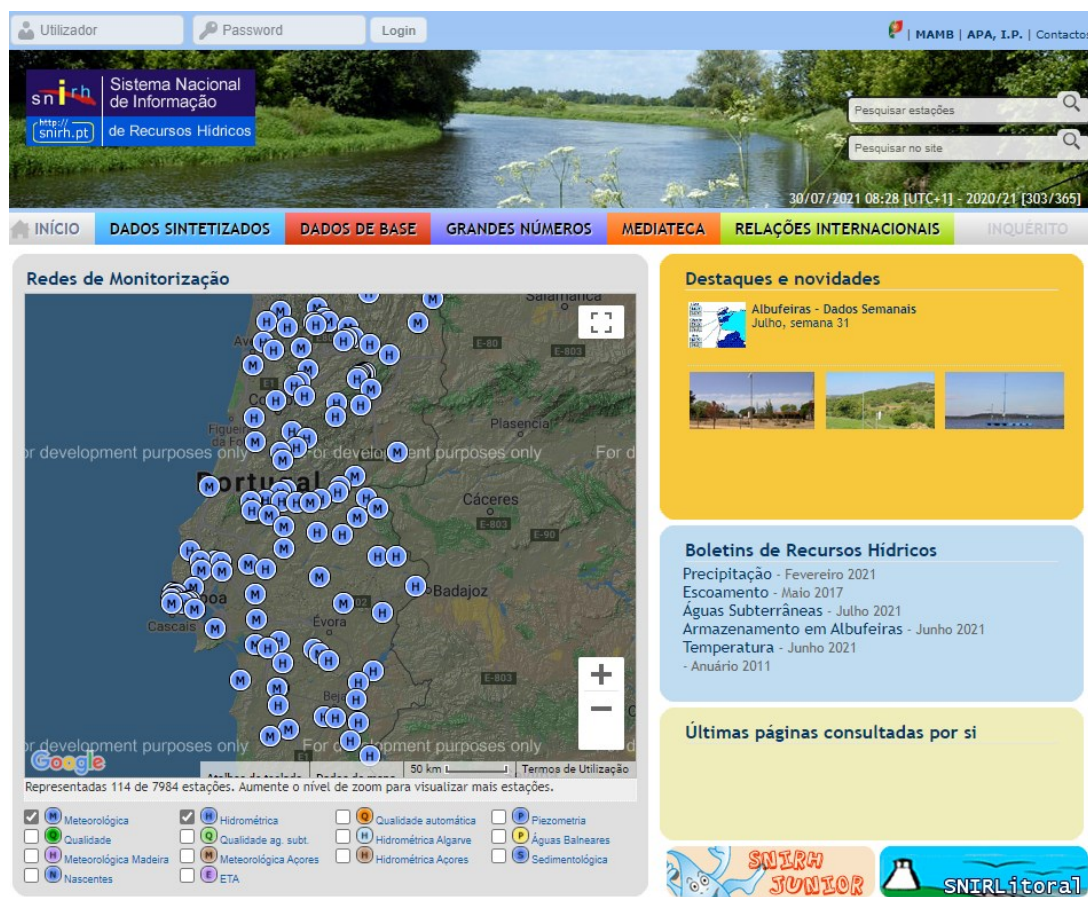


Figura 149 – SNIRH, Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos.

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/>

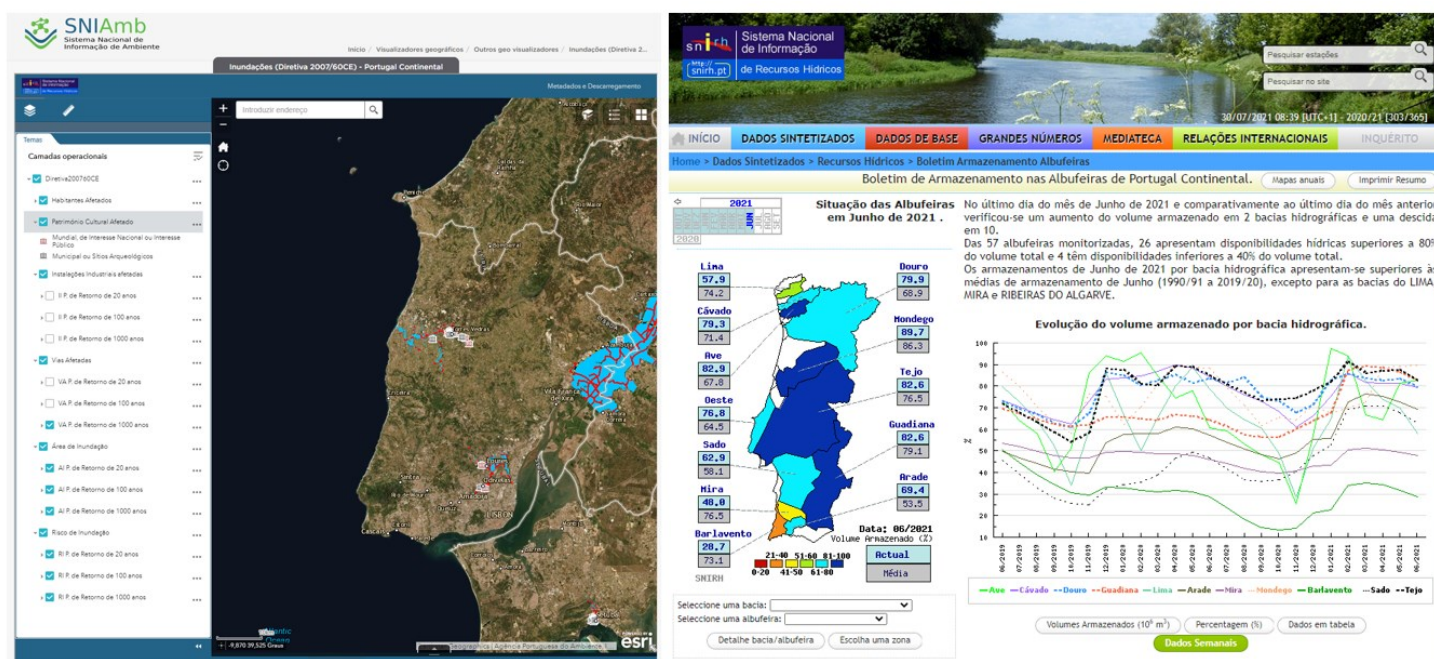


Figura 150 – SNIRH, zonas inundáveis e risco de inundações e boletim de armazenamento de albufeiras.

Fonte: <https://snirh.apambiente.pt/> e <https://snirh.apambiente.pt/>

Outro sítio e fonte essencial é a Agência Portuguesa do Ambiente, <https://apambiente.pt/> (Figura 151, abaixo), destaque, neste contexto, a informação relativa ao clima e alterações climáticas (Figura 152, abaixo), mas sobretudo o SNIAmb – Sistema Nacional de Informação do Ambiente, <https://sniamb.apambiente.pt/> (Figura 153, abaixo), um websig com uma quantidade estupenda de informação (é explorar os temas disponíveis), com uma navegação e funcionamento não muito intuitivo, mas que merece longa exploração. Por último, também na APA, o Portal do Estado do Ambiente, <https://rea.apambiente.pt/> (Figura 154, abaixo), organizado por domínios ambientais, com fichas temáticas plenas de informação, dados, gráficos interactivos e outro material. Pode-se optar pelo Relatório do Estado do Ambiente completo, versão PDF, estando o último, de 2019, disponível em <https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/GeoDocs/>.



Figura 151 – Agência Portuguesa do Ambiente.

Fonte: <https://apambiente.pt/>



Figura 152 – Agência Portuguesa do Ambiente, Clima.

Fonte: <https://apambiente.pt/clima>

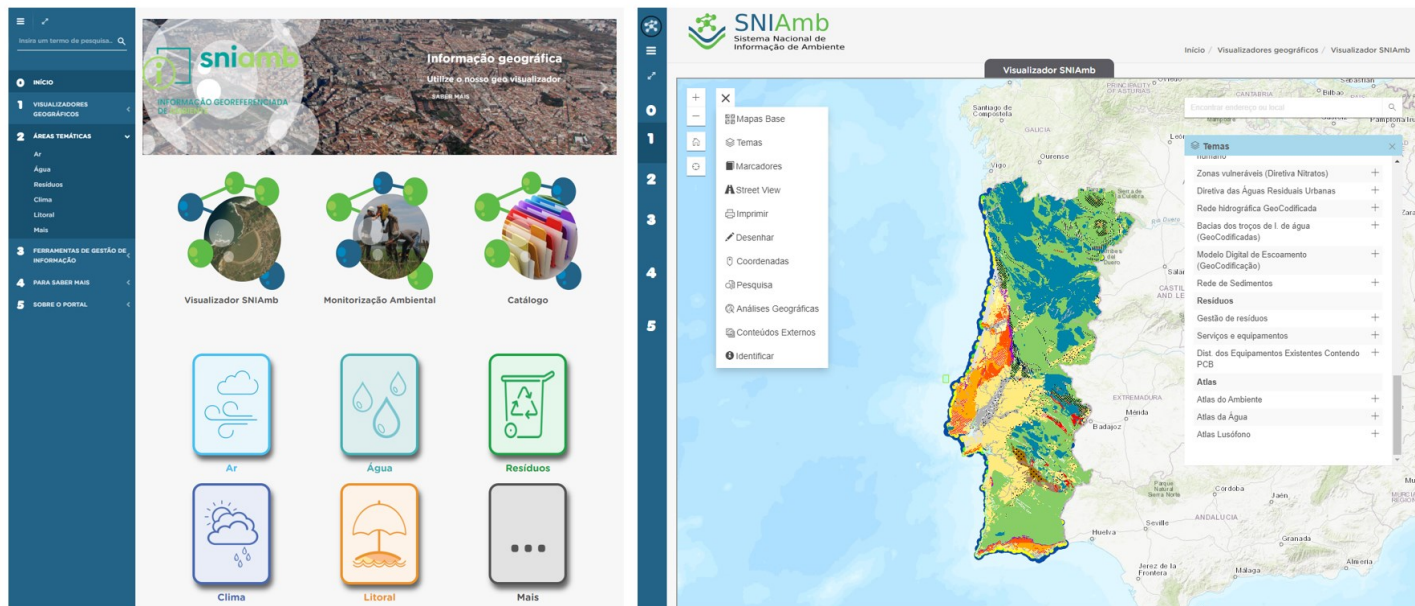


Figura 153 – SNIAmb – Sistema Nacional de Informação do Ambiente.

Fonte: <https://sniamb.apambiente.pt/>



Figura 154 – Portal do Estado do Ambiente.

Fonte: <https://rea.apambiente.pt/> e https://rea.apambiente.pt/dominio_ambiental/energia_e_clima.

Informação

Depois de se apresentar um leque variado de fontes de informação, sítios de internet de várias instituições e organismos, há ainda um aspecto extremamente importante: como estar actualizado em termos de notícias relativas às alterações climáticas, na comunicação social de referência? O que proponho é um método relativamente simples e rápido, de saber, digamos, o que se passa, usando como exemplo quatro órgãos de comunicação social portuguesa, de qualidade, com extenso arquivo digital, disponível *online*: o Público, Diário de Notícias, Jornal de Notícias e Observador, este com uma linha editorial mais “marcada”, bons artigos, mas onde muitos negociantes têm palco (e.g. alterações climáticas, Covid, Vacinas).

Nos vários jornais basta procurar tópicos (ou *tags*) e seleccionar alterações climáticas, por vezes aparecem notícias menos interessantes, ou fora de contexto, mas é uma forma expedita de, regularmente, se procurar esta temática especificamente (Figura 155, abaixo, para o Público), <https://www.publico.pt/alteracoes-climaticas>, Diário de Notícias <https://www.dn.pt/tag/alteracoes-climaticas.html> (Figura 156, para o Jornal de Notícias), <https://www.jn.pt/tag/alteracoes-climaticas.html> e Observador <https://observador.pt/seccao/>. Pode-se fazer o mesmo para jornais e revistas internacionais, exemplos na Figura 157, abaixo, ou revistas científicas (Figura 158, abaixo), entre muitas outras opções, sendo que nalguns casos se pode subscrever *newsletters*, com periodicidades variadas, sobre o tópico.

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

“É de partir o coração”: vídeo mostra salmões feridos por causa do sobreaquecimento das águas
EUA
28 de Julho de 2021

Presidente do IPMA alerta: Portugal tem de se preparar para cenários ambientais “francamente maus”
Lusa
28 de Julho de 2021

Sinais de vida da Terra estão a piorar e cientistas voltam a fazer um aviso
Teresa Sofia Serafim
28 de Julho de 2021

Economia do desastre e falsos amigos
Francis Salema
28 de Julho de 2021

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Cúpula de calor. Centenas de mortos e recordes que ninguém inveja
AMÉRICA DO NORTE
Com o pico de calor, a povoação onde foi registado o novo máximo de temperatura no Canadá, durante três dias sucessivos, acabou consumida pelas chamas.

EXCLUSIVO INTERNACIONAL
G7 alinhado em combater várias crises. Mas não chega
Países falam a uma voz para dar vacinas contra a covid, em compromissos para a crise climática, ou na introdução de impostos para as grandes...
Ministro das Finanças: Portugal terá a ganhar com acordo tributário global

CIÊNCIA
Aquecimento acelerado nos círculos polares

AMBIENTE
EDP Renováveis, JM, CGD e BCP destacadas pelo FT em ranking climático

INVERSIÃO NO PULMÃO DO PLAN...
Amazónia brasileira já emite mais carbono do que absorve

A SEMANA NUM MINUTO
Superliga em ruína, mundo à beira do abismo e todos “fartos de estar em casa”
A contestação ao projeto dos super-ricos do futebol europeu fez ruir a Superliga em poucas horas. A voz dos adeptos foi mais forte, numa semana em...

CLIMA
Biden quer cortar emissões de CO2 para metade até 2030

CIMEIRA DO CLIMA
Desafiar os grandes poluidores e seduzir o setor privado

PM britânico lembra importância da mudança para a economia. Líderes dos EUA, Canadá e Japão elevam a fasquia nos cortes de emissões. Secretário...

SOCIEDADE
“Se a juíza não tivesse visto provas de crime, dois dos suspeitos não estariam na...”

SOCIEDADE
O mistério da Casa EDP no Jamor e do sem-abrigo que agora saiu de lá

SOCIEDADE
Migrações. Nunca houve tantos a obter a nacionalidade portuguesa

Figura 155 – Tópico alterações climáticas no Público e Diário de Notícias.

Fonte: <https://www.publico.pt/alteracoes-climaticas> e <https://www.dn.pt/tag/alteracoes-climaticas.html>

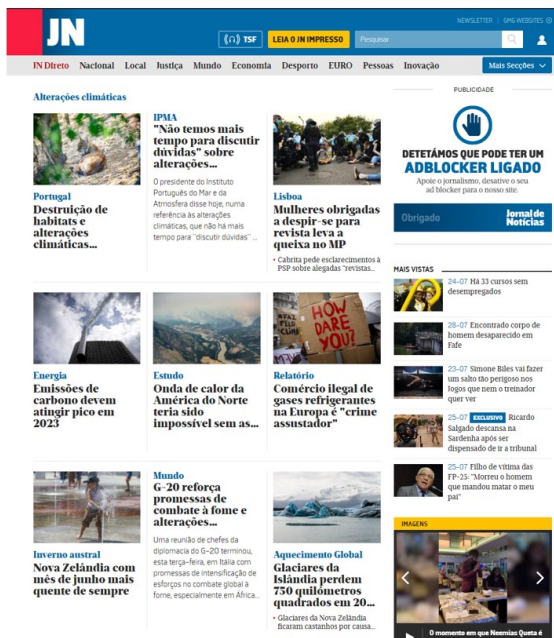
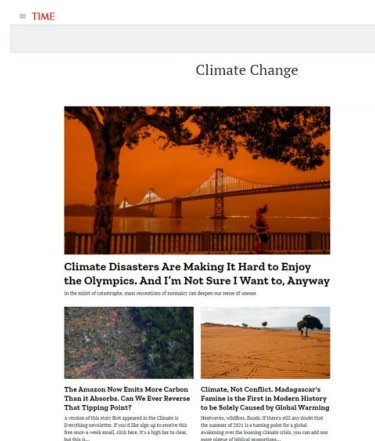
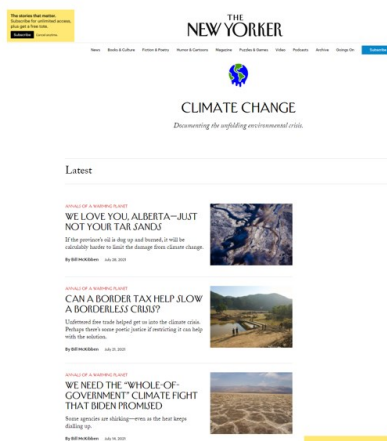
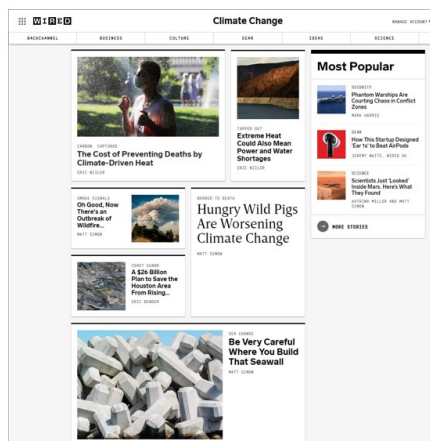


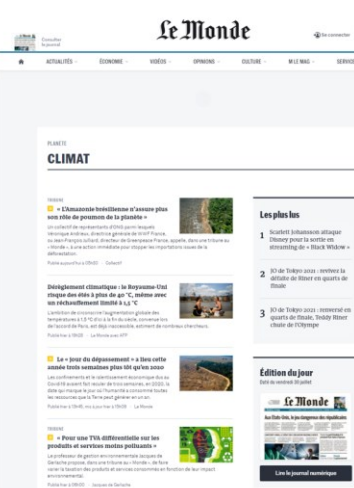
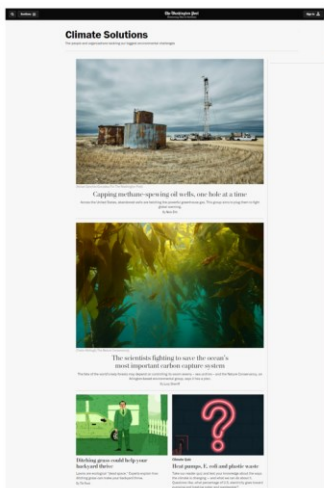
Figura 156 – Tópico alterações climáticas no Jornal de Notícias e Observador.

Fonte: <https://www.jn.pt/tag/alteracoes-climaticas.html> e <https://observador.pt/seccao/ciencia/ambiente-ciencia/clima/>



Wired
New Yorker
TIME

<https://www.wired.com/tag/climate-change/>
<https://www.newyorker.com/tag/climate-change>
<https://time.com/tag/climate-change/>



Washington Post
Le Monde
The Guardian

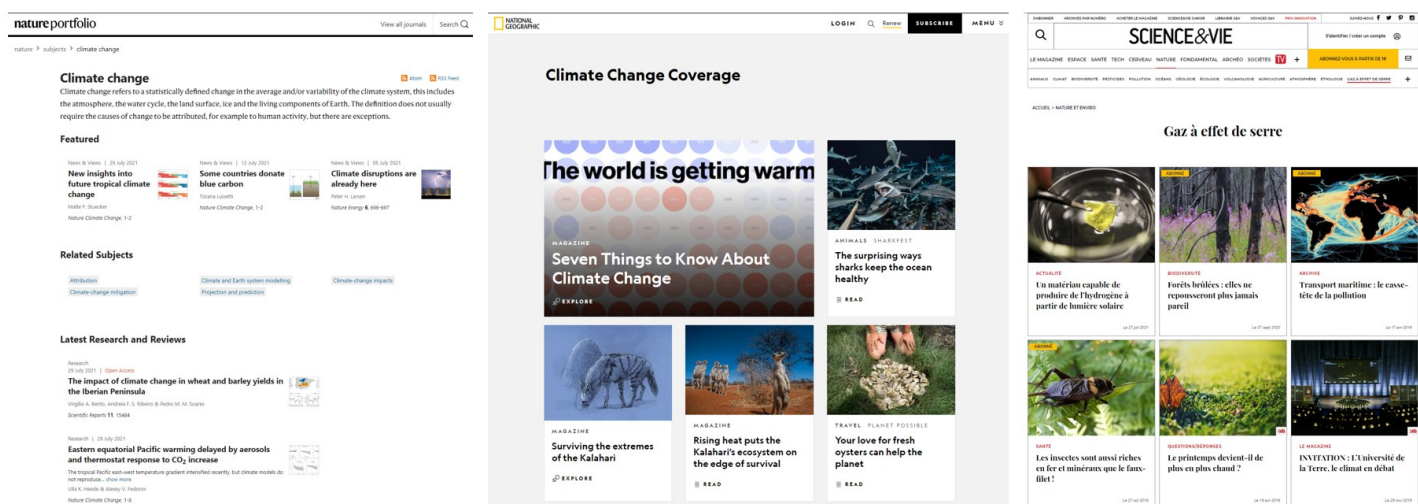
<https://www.washingtonpost.com/climate-solutions/>
<https://www.lemonde.fr/climat/>
<https://www.theguardian.com/environment/climate-change>



New York Times
El País
Al Jazeera

<https://www.nytimes.com/section/climate>
<https://elpais.com/noticias/cambio-climatico/>
<https://www.aljazeera.com/tag/climate-change/>

Figura 157 – Tópico alterações climáticas, exemplos de jornais internacionais.



Nature
National Geographic
Science & Vie

<https://www.nature.com/subjects/climate-change>
<https://www.nationalgeographic.com/environment/topic/climate-change>
<https://www.science-et-vie.com/nature-et-enviro/gaz-a-effet-de-serre>

Figura 158 – Tópico alterações climáticas, exemplos de revistas internacionais.

Antropoceno

Um termo e assunto muito em voga, infelizmente abordado amiúde de formas muito discutíveis, pouco geográficas ou “científicas”, que é relevante para a questão das alterações climáticas, é o Antropoceno ⁽³⁸⁾, resultado da “grande aceleração” (Figura 159, abaixo), de um conjunto de actividades humanas, sobretudo a partir de 1950, sem paralelo na história do planeta. Há um artigo, que em 2004 desencadeou esta questão, “The Trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration”, disponível em <https://www.bpb.de/> e cuja leitura é indispensável para compreender o conceito e o grau de impacto actual, além da distribuição geográfica desigual desta aceleração.

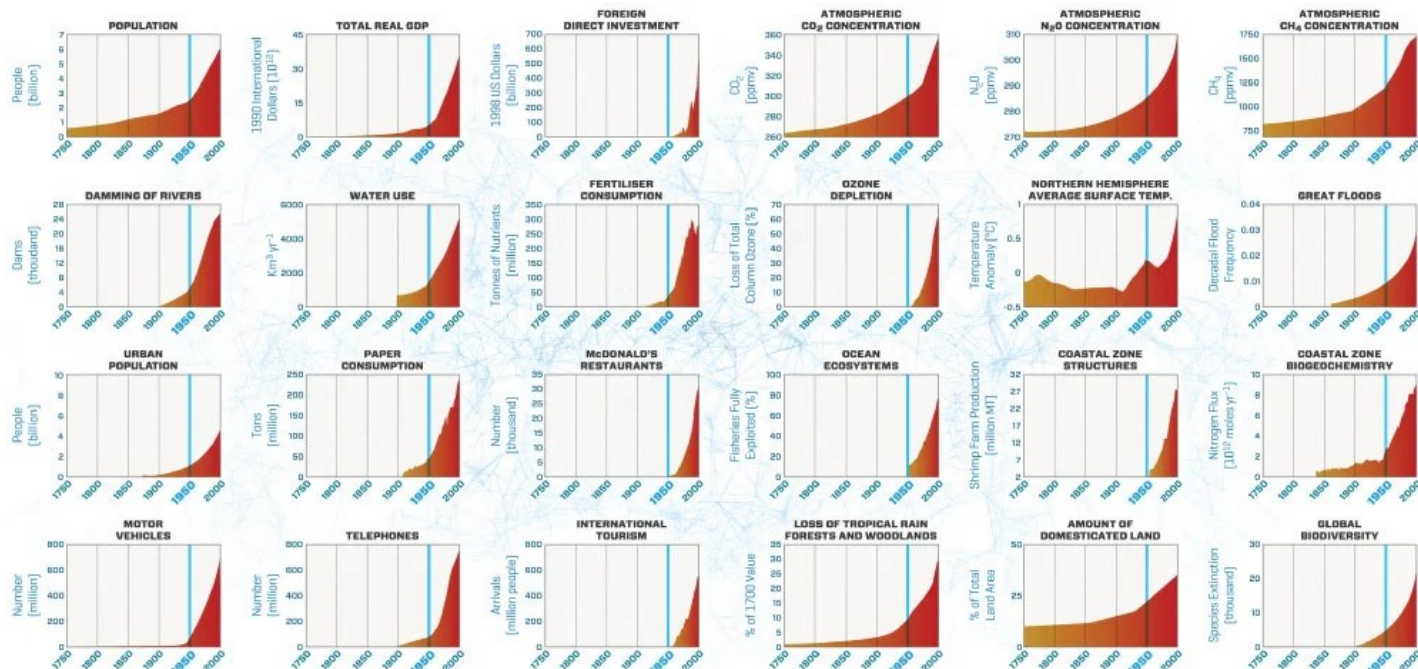


Figura 159 – “The Great Acceleration”.

Fonte: <https://anthropocenejournal.wordpress.com/category/chronology/#jp-carousel-44>

Há quem discuta, bem e mal, se há ou não um Antropoceno, aliás a Comissão Internacional de Estratigrafia - ICS (<https://stratigraphy.org/>) está a estudar o assunto (<http://quaternary.stratigraphy.org/>), dum ponto de vista conceptual e filosófico, aconselho a leitura de dois artigos que ajudarão a compreender melhor o que está em questão nesta definição e a sua importância (Figura 160, abaixo), “Humans versus Earth: the quest to define the Anthropocene”, <https://www.nature.com/articles/> e “What Made Me Reconsider the Anthropocene”, <https://www.theatlantic.com/science/>.

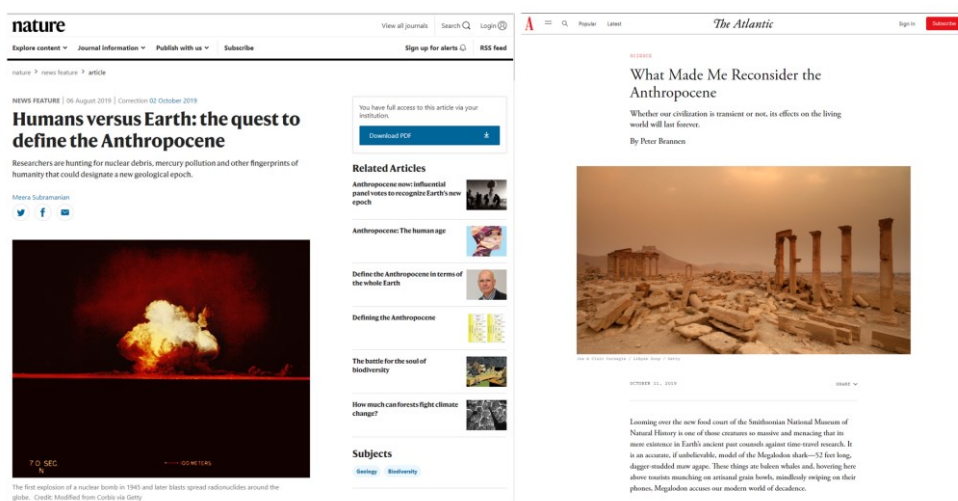


Figura 160 – “Humans versus Earth: the quest to define the Anthropocene” e “What Made Me Reconsider the Anthropocene”.

Fonte: <https://www.nature.com/articles/> e <https://www.theatlantic.com/science/>

Para quem, depois de tudo o que foi resumidamente exposto, relativamente às alterações climáticas e às suas causas antrópicas, achar que a situação não é grave, pode e deve ler “A terra Inabitável”, David Wallace-Wells (Figura 161, abaixo), que parte do seguinte pressuposto: e se, afinal, for muito pior do que aquilo que pensamos, como vamos sobreviver? O horizonte não são séculos, é a próxima geração. Há um bom artigo – entrevista com o autor, sobre o livro, em <https://www.publico.pt/2019/12/23/ciencia/entrevista/david-wallacewells-seculo-xxi-sera-definido-alteracoes-climaticas-1897871>.



Figura 161 – “A terra Inabitável”, David Wallace-Wells, artigo – entrevista ao autor, Público.
 Fonte: <https://www.publico.pt/2019/12/23/ciencia/entrevista/>

Numa época de negacionismo e desinformação, democratização da veiculação de opiniões não fundamentadas, via redes sociais, teorias da conspiração, verdades alternativas e fake news, tem crescido a desconfiança e um certo ódio às elites, ao conhecimento, à ciência. Os professores fazem parte deste “alvo”, porque sabem, porque transmitem conhecimento, porque quanto mais sabem, natural e desejavelmente, mais questões têm e mais compreendem como certos assuntos são complexos, não binários e maniqueístas. Quotidianamente podemos ver “especialistas” e “tudólogos” a dizer tudo e o seu contrário, com ampla divulgação e impacto público, por vezes exemplos típicos do efeito Dunning-Kruger³⁹ (Figura 162, abaixo).

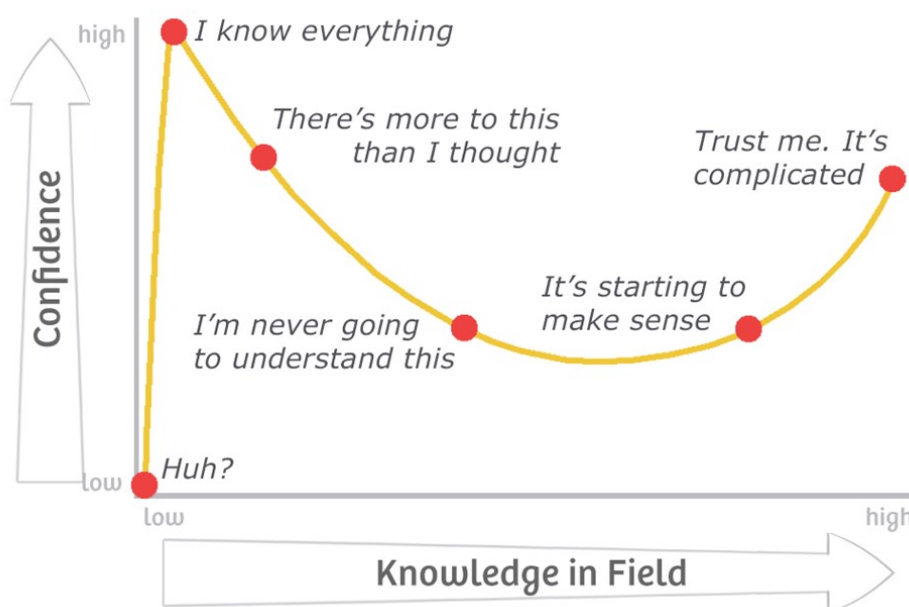


Figura 162 – Efeito Dunning-Kruger.
 Fonte: <https://realizebeauty.wordpress.com/2018/08/28>

³⁹ - https://en.wikipedia.org/wiki/Dunning%E2%80%93Kruger_effect

A definição deste efeito é: "In the field of psychology, the Dunning-Kruger effect is a cognitive bias in which people of low ability have illusory superiority and mistakenly assess their cognitive ability as greater than it is. The cognitive bias of illusory superiority comes from the inability of low-ability people to recognize their lack of ability; without the self-awareness of metacognition, low-ability people cannot objectively evaluate their actual competence or incompetence. On the other hand, people of high ability incorrectly assume that tasks that are easy for them are also easy for other people" (40). Estamos numa perigosa época de pós-verdade (Figura 163 e 164, abaixo), em que basta acreditar para ser verdade e tudo parece ser discutível e uma questão de opinião.

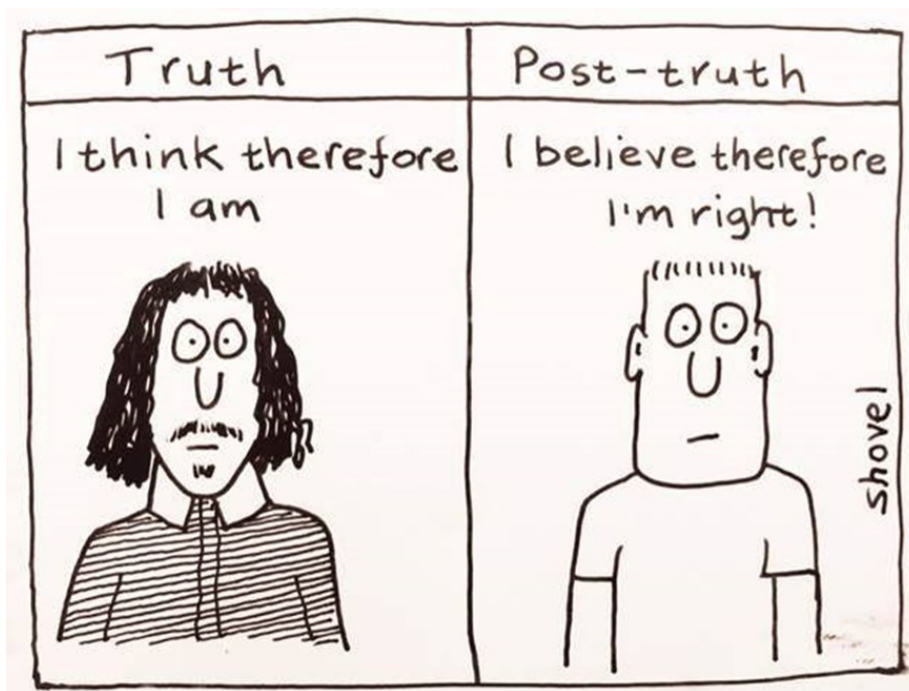


Figura 163 – "Truth & Post-Truth".

Fonte: <https://pbs.twimg.com/media/DO0htfmWkAAU4tM.jpg:large>



Figura 164 – "Science hell".

Fonte: <https://www.tomgauld.com/shop/science-hell-print>

Este fenómeno, esta realidade, o negacionismo e desconfiança a que leva, estão a afectar gravemente a percepção global em relação às alterações climáticas, dificultando o consenso, o sentido de urgência e predisposição para a acção, devemos portanto ter um papel central, forte e continuado na luta contra esta desinformação e falta de conhecimento, que tem levado, em todos os domínios da vida colectiva, a uma enorme polarização e dificuldade de, pura e simplesmente, discutir e debater alguns assuntos, quanto mais encontrar consensos e soluções. Como dizia o Presidente Barack Obama numa entrevista à New Yorker, em 28 de Novembro de 2016, pouco depois das eleições que elegeram Donald Trump:

40 - https://en.wikipedia.org/wiki/Dunning%E2%80%93Kruger_effect

“An explanation of climate change from a Nobel Prize-winning physicist looks exactly the same on your Facebook page as the denial of climate change by somebody on the Koch brothers' payroll. And the capacity to disseminate misinformation, wild conspiracy theories, to paint the opposition in wildly negative light without any rebuttal - that has accelerated in ways that much more sharply polarize the electorate and make it very difficult to have a common conversation.”
(<https://www.newyorker.com/magazine/2016/11/28/>)

Queria terminar com a sugestão de um recurso fantástico, imprescindível, para mostrar e discutir em aula, apreciar em casa, ver e rever, um documentário de 2009 sobre a Terra, de Yann Arthus-Bertrand (Figura 165, abaixo), todo filmado com imagens aéreas de uma enorme beleza, sobre a diversidade no planeta e a forma como a humanidade, com o seu impacto, está a ameaçar o equilíbrio ecológico do planeta. O filme, de duas horas, pode ser visto na íntegra, gratuitamente e narrado em português por Eduardo Rêgo, em <https://www.youtube.com/>, podem ver o trailer em <https://www.imdb.com/>.

IMDb Menu All Search IMDb IMDbPro Watchlist Sign In

Home - O Mundo é a Nossa Casa

Original title: Home
2009 · M/6 · 1h 58min

IMDb RATING **8.5/10** 22K YOUR RATING ☆ Rate

Cast & crew · User reviews · Trivia · IMDbPro All topics

HOME
BY FILM BY YANN ARTHUS-BERTRAND

Play trailer with sound 2:20

1 VIDEO

42 PHOTOS

Documentary

+ Add to Watchlist

52 User reviews 27 Critic reviews 47 Metascore

Director Yann Arthus-Bertrand

Writers Isabelle Delannoy (commentary) · Yann Arthus-Bertrand (commentary) · Denis Carot

Stars Yann Arthus-Bertrand (voice) · Glenn Close (English version) · Jacques Gamblin (voice)

IMDbPro See production, box office & company info

Figura 165 – “Home”, Yann Arthus-Bertrand.

Fonte: <https://www.imdb.com/title/tt1014762/>

Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=Wq546EesVPE>

Índice de figuras

Figura 1 - “Pale Blue Dot”, Terra a 6 mil milhões de km, 14-02-1990, Voyager 1.	2
Figura 2 – “Thin Blue Line”, Scott Kelly, NASA, 21 de Setembro de 2015.....	3
Figura 3 – Camadas da atmosfera, verticalmente não estão à escala.	4
Figura 4 – A silhueta do <i>Space Shuttle Endeavour</i> , contra a atmosfera	4
Figura 5 – Ar e água que existem no planeta, representadas como esferas.....	5
Figura 6 – NASA, “A Year in The Life of Earth's CO ₂ ”.	6
Figura 7 – IRSN, Evolução da nuvem radioactiva de Chernobyl.	7
Figura 8 – Dispersão da nuvem de cinzas da erupção do vulcão Eyjafjallajökull, Islândia, Abril de 2010.	7
Figura 9 – Pluma volcânica do vulcão La Soufrière, na ilha caribenha de Saint Vincent, durante Abril de 2021. .	8
Figura 10 – “Swirling Smoke, how Australia's bushfire smoke spread”, 01-12-2019 – 06-01-2020.....	9
Figura 11 – Dispersão do fumo dos incêndios, 27-28 de Dezembro a 7-8 de Janeiro 2020, imagem VIIRS cor real, GIF animado.	9
Figura 12 – Imagem Suomi NPP, 12-13 Janeiro 2020, índice de aerossóis.....	9
Figura 13 – Animação de imagens NASA – Modis, 31-12-2019 a 05-04-2020, dispersão do fumo e cortes em altitude, ao longo do trajecto, no dia 5 de Janeiro o fumo já estava a mais de 6500 km da origem.....	10
Figura 14 – Foto tirada da Estação Espacial Internacional (13-01-2020), onde é bem visível a extensão e altitude a que o fumo chegou, abaixo perfil vertical atmosférico (23-01-2020).	10
Figura 15 – Fumo dos incêndios na América do Norte, atingem a Península Ibérica, MODIS Terra 2021-08-20....	11
Figura 16 – Porção de monóxido de carbono na coluna de ar, Sentinel 5P, 21 de Agosto de 2021.....	11
Figura 17 – Previsão, animada, com dados do ECMWF, de 28 de Julho a 1 de Agosto, da porção de monóxido de carbono a 500 hPa (cerca de 5500 metros acima do solo).....	11
Figura 18 – Esquema de algumas das possíveis influências causadoras de alterações climáticas.	12
Figura 19 – Balanço energético global médio nas condições atmosféricas anuais, fluxos em Wm ⁻²	13
Figura 20 – Os gases atmosféricos absorvem alguns comprimentos de onda, mas são transparentes a outros. Na imagem os picos de absorção da água, a azul e do dióxido de carbono, a rosa. O vapor de água é um forte gás de efeito de estufa, mas é nos comprimentos de onda de calor irradiado pela superfície (infravermelho térmico), que o CO ₂ tem um papel decisivo para o efeito de estufa.	14
Figura 21 – “On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground”.	15
Figura 22 – “The Carbon Dioxide Theory of Climate Change”, cálculos CO ₂	16
Figura 23 – Medição do contributo radiactivo de vários gases para o aquecimento do clima.	17
Figura 24 – É o vapor e não o CO ₂	18
Figura 25 – Coluna de gelo de Vostok, Janeiro de 1998, 3623 metros de profundidade, cerca de 420 mil anos.	18
Figura 26 – Ice cores Vostok e Epica, deutério, pm (partes por mil), indicador da temperatura.	19
Figura 27 – Comparação dos ice cores EPICA e Vostok.	19
Figura 28 – Concentração atmosférica de dióxido de carbono, desde há 800 mil anos.	20
Figura 29 - Concentração atmosférica de dióxido de carbono, escala horizontal não proporcional.	20
Figura 30 – Concentração global média de vários gases de efeito de estufa na atmosfera, 1975-2020.....	21
Figura 31 – Valores médios de concentração de CO ₂ , Mauna Loa – Havai, 2016-2021.....	22

Figura 32 – Valores médios diários de concentração de CO ₂ , 20 de Junho a 20 de Julho de 2021, Mauna Loa.	22
Figura 33 – Evolução mensal do CO ₂ , animação, 2007-2021, Mauna Loa.	23
Figura 34 – CO ₂ em estações da GAW, Março Abril de 2014.	23
Figura 35 – Consenso científico: o clima da Terra está a aquecer, anomalia térmica global 1880-2020.	24
Figura 36 – Ciclo anual global do carbono, simplificado.	25
Figura 37 - Representação, esquemática, simplificada do ciclo de carbono.	25
Figura 38 – “Global Climate Change – Vital Signs of the Planet “.	26
Figura 39 – Componentes do sistema climático, que se esperaria estarem a mudar, num mundo mais quente.	27
Figura 40 – IPCC poster sumário “Climate Change 2013: The Physical Science Basis”.	28
Figura 41 – Mudanças na temperatura média à superfície, observada (a), projectada (b), precipitação (c) e humidade do solo (d).	31
Figura 42 – Mudanças projectadas de intensidade e frequência para três tipos de eventos, temperatura extrema, precipitação intensa em terra e seca agrícola e ecológica em regiões crescentemente mais secas.	31
Figura 43 – Projecção de mudança de Indicadores de impacto climático.	32
Figura 44 – as alterações climáticas já estão, actualmente, a afectar as regiões habitadas do planeta e a influência humana a contribuir para muitas mudanças nos extremos climáticos e meteorológicos.	33
Figura 45 – “Warming stripes” do Professor Ed Hawkins, 1850 – 2018.	34
Figura 46 – Dados globais de temperatura, utilizados para construir as “riscas”, versão por países.	34
Figura 47 – Sítio “#ShowYourStripes”.	34
Figura 48 – Cartografia das mudanças de temperatura globais, 1850 – 2016.	35
Figura 49 – Temperaturas médias globais, 1851-2020, comparadas com o valor médio 1850-1900.	35
Figura 50 – Animação (ver na fonte) da evolução da temperatura, 0 a 2019, em relação à média 1961-1990.	36
Figura 51 – Os 10 anos mais quentes de sempre – desde que há registos - a nível global, gráfico de barras dos desvios da temperatura em relação à média global, 1881-1910.	36
Figura 52 – Evolução da distribuição das anomalias da temperatura terrestre global, 1951-2020, gráfico à esquerda e animação (ver fonte) dessa mesma evolução, com 30 segundos.	37
Figura 53 – Evolução das anomalias térmicas mensais globais, 1880-2021, em relação à média 1980-2015.	37
Figura 54 – Anomalias térmicas anuais, entre 1880-2020, em função da latitude, em relação à média 1851-80.	37
Figura 55 – Extensão do gelo no mar Ártico, por mês, 1979 – 2014.	38
Figura 56 – Degelo generalizado no Glaciar George VI, Antárctida, Janeiro de 2020.	38
Figura 57 – Extensão do gelo marinho no Ártico, em Dezembro de 2019, gráficos com a evolução média mensal e desvio, extensão média mensal (em claro e importante decréscimo), anomalia térmica no Ártico, projecção polar, Dezembro de 2019. Na fonte existe muito mais informação, actualizada, quase em tempo real e, também, para a Antárctida, Gronelândia, além de relatórios anuais e sazonais (NSIDC – National Snow & Ice Data Center).	39
Figura 58 – Animação (ver fonte e opções de download) das anomalias da temperatura global, 1880-2020.	39
Figura 59 – Animação (ver fonte e opções de download) dos vários indicadores de alterações climáticas, anomalia de teor de calor no oceano, anomalia da temperatura de superfície, anomalia térmica na baixa e	

média estratosfera, anomalia de área de gelo no Ártico, discriminados por observações, “condutores” (drivers) naturais, humanos e combinados, para o período 1850-2018.....	40
Figura 60 – 2020 empatado com 2016 como ano mais quente de que há registo.....	40
Figura 61 – NASA “Earth Observatory”	41
Figura 62 – Como mudaram os relatórios do IPCC ao longo do tempo, quanto ao peso atribuído à contribuição humana para as alterações climáticas, entre 1990 e 2013.	42
Figura 63 – O que está realmente a aquecer o mundo? Infografia, seguir para a fonte, ir descendo na página.	43
Figura 64 – História das mudanças globais de temperatura e causas de aquecimentos recente.	44
Figura 65 - Contributo de vários factores, para as mudanças de temperatura à superfície, 1951 – 2010.	44
Figura 66 – Avaliação de contributos para o aquecimento global em 2010-2019 relativamente a 1850-1900. ..	45
Figura 67 – Contributo de vários factores para o aquecimento global, segundo vários estudos.	46
Figura 68 – Temperatura global e actividade solar, 1880-2020.....	47
Figura 69 – Fontes de emissão e sumidouros de carbono, 1750-2012.....	48
Figura 70 – “Forçamento” radiactivo, emissões e indicadores, em energia por unidade de superfície (W m^{-2}). ..	49
Figura 71 – Gases de efeito de estufa, concentrações na atmosfera, contributo para o aquecimento global, tempo de vida e potencial de aquecimento a vários horizontes, evolução das concentrações.	50
Figura 72 – Emissões anuais de gases de efeito de estufa por sector, 2000.....	51
Figura 73 – Emissões de CO ₂ fóssil, por sector, a nível mundial, 1990 – 2017.....	53
Figura 74 – Emissões de gases de efeito de estufa em 2005, valores absolutos por sector.	54
Figura 75 – Emissões globais de CO ₂ , por sector, 2016.	54
Figura 76 – Emissões globais de CO ₂ por tipo de combustível, 1750-2019.....	55
Figura 77 - Emissões globais de CO ₂ por tipo de combustível, <i>per capita</i> , 2019.....	55
Figura 78 – Emissões globais de CO ₂ , por tipo de combustível, nos principais emissores, 2019.....	56
Figura 79 – Portugal, emissões <i>per capita</i> de CO ₂ , 1870-2017.	56
Figura 80 – Portugal, emissões cumulativas de CO ₂ , 1750-2017.....	57
Figura 81 – Portugal, emissões de CO ₂ com base em produção e consumo. 1990-2019.	57
Figura 82 - Portugal, emissões de CO ₂ por tipo de combustível, 1750-2019.	58
Figura 83 -Um atlas da poluição: o mundo em emissões de dióxido de carbono, 2008-2009.	59
Figura 84 – Emissões totais de CO ₂ , por região, até 2019.....	60
Figura 85 - Quem emite mais CO ₂ , 2017.....	60
Figura 86 – Emissões acumuladas de CO ₂ , por região do globo, 1750-2019.....	61
Figura 87 – Quem contribuiu mais para as emissões de CO ₂ , 1751-2017.....	61
Figura 88 – Emissões de CO ₂ “embutidas” no comércio, 2018.....	62
Figura 89 -Emissões globais de CO ₂ , em função do rendimento e por região, 2016.	63
Figura 90 – “Our World in Data”	64
Figura 91 – Emissões de NO _x , 2008.....	65
Figura 92 – Dióxido de azoto na coluna troposférica, Europa, Abril a Setembro de 2018.....	65
Figura 93 - Dióxido de azoto na coluna troposférica, Leste da Ásia, Abril a Setembro de 2018.....	66
Figura 94 – Diminuição do dióxido de azoto, sobre a China, 1 de Janeiro e 25 de Fevereiro de 2020.	66
Figura 95 – Diminuição dos níveis de NO ₂ na região de Wuhan, Janeiro a Fevereiro de 2019 e 2020.	67
Figura 96 – GIF animado da variação de concentração de NO ₂ , na península Ibérica, 14-25 de Março 2020. ..	67
Figura 97 – Variação de concentração de NO ₂ , França, 14-25 de Março 2020.	68

Figura 98 - Variação de concentração de NO ₂ , Itália, 14-25 de Março 2020.....	68
Figura 99 – Vídeo da diminuição de NO ₂ na Europa, 1 de Janeiro a 20 de Março 2020, confinamentos Covid.....	68
Figura 100 – Praça do Comércio, em Lisboa, 27 de Fevereiro (esquerda) e 17 de Março de 2020 (direita).....	69
Figura 101 – Ponte sobre o Yangtse, Huwan, China, 12 de Janeiro e 28 de Janeiro de 2020.	69
Figura 102 – Estação de comboio de Wuhan, China, 17 de Outubro de 2019, 25 de Fevereiro de 2020.	69
Figura 103 -Caaba, dentro da Grande Mesquita de Meca, Arábia Saudita, 25 de Janeiro e 10 de Março 2020.	70
Figura 104 - Metano na coluna troposférica, Envisat, anual e estações do ano, evolução 2003 a 2010.	70
Figura 105 – Balanço global de metano, 2008-2017.....	71
Figura 106 – Emissões de metano, por região, latitude e fonte, 2017.	71
Figura 107 – Permafrost no hemisfério Norte.....	72
Figura 108 – Visualização 3D da emissão e transporte do metano atmosférico, Dezembro de 2017 -2108.	72
Figura 109 – Monóxido de carbono global, Sentinel - 5P, 2017.....	73
Figura 110 – Emissões de gases poluentes, OCDE, 1990-2015.	73
Figura 111 – “Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming”.	74
Figura 112 – Consenso vs especialização em ciências climáticas.	75
Figura 113 – Lista das organizações científicas mundiais, com a posição de que “as alterações climáticas são causadas por acção humana.	75
Figura 114 – “Learning from mistakes in climate research”.....	76
Figura 115 – “Skeptical Science”.....	77
Figura 116 – “NASA Global Climate Change”.....	78
Figura 117 – “IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change”.	79
Figura 118 – “Climate Change 2013: The Physical Science Basis”.	79
Figura 119 - “AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis”.	80
Figura 120 – “Climate Science Special Report”.	80
Figura 121 – “State of the Global Climate 2020”.....	81
Figura 122 – “Selected climate change-related risks to the achievement of the SDGs”.	81
Figura 123 – “The global climate 2011-15” e “The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate”.	82
Figura 124 – “Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016”, e The European environment — state and outlook 2020.	82
Figura 125 - “European State of the Climate 2020”.	83
Figura 126 – “Europa em 2020, indicadores, comparação com tendências de longo prazo de variáveis do sistema climático”.	83
Figura 127 – Copernicus, os olhos da Europa na Terra.....	84
Figura 128 – “Copernicus Early Warning and Monitoring” e EFFIS.....	84
Figura 129 – “NOAA Global Climate Report 2020”.....	85
Figura 130 – “NOAA Climate”.	85
Figura 131 – “Climate Central”.	86
Figura 132 – “NASA Global Climate Change”.....	86
Figura 133 – “United Nations – Climate Change”.	86
Figura 134 - Comissão Europeia, Alterações Climáticas e Ambiente e respectiva página do Facebook, Pacto Ecológico Europeu e anexos.	87

Figura 135 – “NSIDC, National Snow and Ice Data Center” .	88
Figura 136 – “Global Cryosphere Watch” .	88
Figura 137 – “NASA - Explore Earth, Water, Oceans and Ice” .	89
Figura 138 – “NASA Sea Level Change – Observations from Space” .	89
Figura 139 - IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera.	90
Figura 140 – IPMA, O Clima.	91
Figura 141 – IPMA, informação relativa ao clima, acompanhamento, extremos e normais.	92
Figura 142 - IPMA, informação relativa ao clima, monitorização mensal.	92
Figura 143 - IPMA, informação relativa ao clima, publicações.	92
Figura 144 - IPMA, informação relativa ao clima, gases de efeito de estufa e serviços do clima.	93
Figura 145 – IPMA, Portal do Clima.	93
Figura 146 - IPMA, Portal do Clima.	94
Figura 147 - IPMA, Portal do Clima.	94
Figura 148 - IPMA, Portal do Clima.	94
Figura 149 - SNIRH, Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos.	95
Figura 150 – SNIRH, zonas inundáveis e risco de inundações e boletim de armazenamento de albufeiras.	95
Figura 151 - Agência Portuguesa do Ambiente.	96
Figura 152 - Agência Portuguesa do Ambiente, Clima.	96
Figura 153 - SNIAmb – Sistema Nacional de Informação do Ambiente.	97
Figura 154 - Portal do Estado do Ambiente.	97
Figura 155 – Tópico alterações climáticas no Público e Diário de Notícias.	98
Figura 156 - Tópico alterações climáticas no Jornal de Notícias e Observador.	99
Figura 157 - Tópico alterações climáticas, exemplos de jornais internacionais.	100
Figura 158 – Tópico alterações climáticas, exemplos de revistas internacionais.	100
Figura 159 – “The Great Acceleration” .	101
Figura 160 - “Humans versus Earth: the quest to define the Anthropocene” e “What Made Me Reconsider the Anthropocene” .	101
Figura 161 – “A terra Inabitável”, David Wallace-Wells, artigo – entrevista ao autor, Público.	102
Figura 162 – Efeito Dunning-Kruger.	102
Figura 163 – “Truth & Post-Truth” .	103
Figura 164 – “Science hell” .	103
Figura 165 – “Home”, Yann Arthus-Bertrand.	104